

**UNIVERSIDAD DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**



**TESIS DOCTORAL**

**La humedad como factor de fertilidad : su influencia en la  
nutrición vegetal : (nueva teoría para generalizar la Ley del  
Mínimo)**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**Francisco Valerio García García**

**Madrid, 2015**

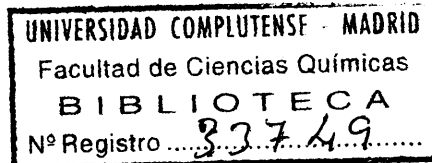
LA HUMEDAD COMO FACTOR DE FERTILIDAD:  
SU INFLUENCIA EN LA NUTRICION VEGETAL  
(Nueva teoría para generalizar la Ley del Mínimo)

MEMORIA

PRESENTADA POR

FRANCISCO VALERIO GARCIA GARCIA

PARA ASPIRAR AL TITULO DE DOCTOR EN CIENCIAS QUIMICAS



625094701  
137570717

Madrid, abril 1967

**A mi madre.**

El más sincero agradecimiento al Prof. Dr. D. Fernando Burriel Martí por apadrinar esta tesis Doctoral. Al Dr. D. Valentín Hernando Fernández, Jefe del Departamento de Fertilidad de Suelos del Instituto de Edafología y Biología Vegetal (Madrid) del C.S.I.C., por su valiosa é inestimable dirección. Al Dr. D. Luis Jimeno Martín su estímulo y eficaz ayuda a lo largo de todo el trabajo. Igualmente agradezco a todo el personal de este Departamento y al de la Biblioteca de este Instituto su estimable ayuda.

Valerio Javal.



Introducción.....	1
La nutrición mineral y humedad del suelo.....	5
La temperatura del suelo.....	5
Presión de $O_2$ y $CO_2$ .....	6
Factores fisiológicos.....	7
Solución del suelo.....	11
Relación Nitrógeno-Humedad.....	13
Relación Fósforo-Humedad.....	17
Relación Potasio-Humedad.....	21
"Efecto de valencia" con la dilución, según el equilibrio Donnan.....	28
"Efecto de valencia" en la nutrición vegetal.....	29
CONSIDERACIONES GENERALES Y PLAN DE TRABAJO.....	33
<b><u>TÉCNICA Y MÉTODOS EXPERIMENTALES</u></b>	
Elección de la planta.....	38
Elección del tipo de suelo.....	38
Sistema de riego.....	41
Análisis vegetal.....	43
Técnicas analíticas.....	45
Planteamiento de las experiencias.....	47
Experiencia Humedad-Nitrógeno.....	50
Experiencia Humedad-Fósforo.....	52
Experiencia Humedad-Potasio.....	54
Experiencia Factorial.....	56
<b><u>ESTUDIO DE LOS RENDIMIENTOS</u></b>	
Consideraciones sobre la interrelación de los factores que intervienen en la producción (Estados de superpo- sición).....	59

Suelo arcilloso y Tiesto pequeño .....	64
Suelo arcilloso y Tiesto grande .....	67
Suelo arenoso y Tiesto pequeño .....	70
Rendimientos de las experiencias Fósforo-Humedad en:	
Suelo arcilloso y Tiesto pequeño .....	72
Suelo arcilloso y Tiesto grande .....	75
Suelo arenoso y Tiesto pequeño .....	78
Rendimientos de las experiencias Potasio-Humedad en:	
Suelo arcilloso y Tiesto pequeño .....	80
Suelo arcilloso y Tiesto grande .....	82
Suelo arenoso y Tiesto pequeño .....	84
Experiencia factorial en suelo arcilloso .....	87
Experiencia factorial en suelo arenoso .....	92
Discusión general de la producción .....	99
<u>ANÁLISIS DE SAVIA</u>	
Estudio de la concentración de Nitratos .....	108
Estudio de la concentración de Fosfatos .....	120
Estudio de la concentración de Potasio .....	134
Estudio de la concentración de Calcio .....	148
Estudio de la razón $K/\overline{Ca}$ .....	161
Estudio de la concentración de Cloruros .....	171
<u>ANÁLISIS DE SUELOS</u>	
De las experiencias Humedad-Nitrógeno .....	184
De las experiencias Humedad-Fósforo .....	188
De las experiencias Humedad-Potasio .....	193
De las experiencias Factoriales .....	196
Discusión del análisis de Suelo .....	202
<u>DISCUSION GENERAL</u> .....	204
CONCLUSIONES .....	211
BIBLIOGRAFIA .....	213

## **I N T R O D U C C I O N**

La producción vegetal como fenómeno biológico es función de un gran número de factores entre los cuales el agua y la fertilización juegan un papel sobradamente conocido.

El afán del hombre por conseguir agua para sus cultivos es casi tan vieja como la humanidad misma. La investigación sobre el tema en lógicas correspondencia, ha sido extraordinariamente abundante. Lo mismo puede afirmarse respecto a la fertilización.

La investigación conjunta de ambos factores, si bien ha sido numerosa no puede afirmarse que sea sistemática. Los resultados no son muy esclarecedores de la relación mutua de ambos, respecto a los rendimientos en los distintos cultivos.

Así en el año 1911 Montgomery y Kiesselbach (102) realizan su clásica experiencia en una plantación de maíz, observando que la fertilización del suelo tiene un marcado efecto en las necesidades de agua por la planta, encontrando una mayor producción por unidad de agua consumida en los suelos bien fertilizados.

Los resultados obtenidos más recientemente por Parks (110) (1951) son típicos de muchos experimentos de esta especie. Al aplicar la irrigación a un cultivo de maíz, sin modificar el resto de los tratamientos, no hay incremento apreciable en la

producción. Cuando la fertilización fué incrementada encuentra dos importantes relaciones: a) En los riegos poco frecuentes, el agua fué usada eficientemente. b) Al aumentar la frecuencia de los riegos, la eficiencia del agua fué mucho mayor.

Haddock (54), trabajando con la remolacha azucarera, encuentra que cuando la fertilidad del suelo fué mantenida constante, la irrigación pudo incrementar la producción en 7 Tn/acre. Igualmente cuando la irrigación se mantuvo constante, la fertilización fue capaz de elevar el rendimiento en 6 Tn/acre. Al elevar tanto la irrigación como la fertilización la producción experimentó un aumento de 12 Tn/acre.

Olson y col. (109) encuentran que la eficiencia del agua fué aumentada en un 29%, por un tratamiento óptimo de fertilización. Esto se comprobó ya por una mayor producción de grano o por un mejor aprovechamiento del agua contenida en el subsuelo; las plantas que mejor hicieron uso del agua fueron las de grano grueso, como maíz y sorgo. Observando que cuando las aplicaciones de N sean más tardías, más eficiente es el consumo de agua, pues así evita el desarrollo precoz de la planta que agota las reservas de agua antes de la granazón.

A su vez son varios los trabajos que estudian el efecto de la fertilización en general, en el mejor aprovechamiento de la humedad del suelo, tomando como módulo de la mayor extracción del agua el desarrollo radicular de la planta. Entre estos trabajos hemos de citar a los de Smith (133) y Duncan y col. (37).

La mayor parte de los trabajos sobre el efecto de la relación humedad del suelo - fertilización, en la producción, se han hecho con cereales y forrajes, estudiando en la mayoría de ellos el efecto de la fertilización nitrogenada en la economía del agua por la planta. Entre estos trabajos caben distin-

guir a los de Basil y col. (4) con forrajes, y a los de Carlson y col. (23) con maiz, Haise y col. (59) con gramíneas, Saika y col. (132) con pastos naturales, los trabajos de Kelley (78) con pastos y otros muchos (118), (127).

Las conclusiones a que llegan la mayor parte de estos autores pueden resumirse en dos: a) La cantidad de materia seca por unidad de agua consumida, o coeficiente de evapotranspiración, se elevó con la fertilización nitrogenada, y b) La producción de materia seca por unidad de agua consumida aumentó en las parcelas sin riego.

Los estudios sobre la relación humedad del suelo - fertilización fosfatada en la producción vegetal son menos frecuentes. Entre estos trabajos hemos de destacar al de Stambery (134) que estudia el efecto de tres regímenes de humedad y diez niveles de fertilización fosfatada en la producción de alfalfa; encontrando que hay un progresivo incremento en la producción a medida que la fertilización de fósforo aumenta para un nivel de humedad dado. Y viceversa al aumentar la humedad, para un nivel de fertilización constante, aumenta la producción, pasando el coeficiente de evapotranspiración, cantidad de agua consumida en la producción de una unidad de materia seca, de  $1.478 \text{ m}^3$  en el tratamiento de baja humedad y con una pobre fertilización a  $972 \text{ m}^3$  cuando tanto el riego como la fertilización son los óptimos.

No obstante este mismo autor señala que cuando considera la producción global durante cuatro años, no se producen incrementos apreciables de la misma al aumentar la dosis de P, en un régimen en el que la humedad sea deficiente. Trabajo muy interesante, pero con el inconveniente que el autor no hace mención alguna al tipo de suelo en el que hizo la experiencia.

Power (115) estudia el efecto de la fertilización fosfatada y la humedad del suelo en la producción de trigo, bajo las condiciones climáticas de las Grandes Manzanas (EE.UU.) observan

el agua en el suelo; encontrando que la eficiencia de la humedad aumenta con la fertilización fosfatada.

La relación fertilización potásica-humedad del suelo en la producción ha sido la menos estudiada y los pocos trabajos que se han hecho sobre ella no llegan a conclusiones definidas (6). Cuando los estudios se han realizado con plantas en las que el potasio juega un papel fundamental en su producción, las conclusiones son mas definidas, como en el trabajo que presenta Larson (82) con remolacha azucarera.

De la literatura revisada hasta aquí se deduce que los estudios sobre la relación humedad del suelo - fertilización nitrogenada son muy frecuentes; llegando la mayoría de los investigadores a la misma conclusión: la fertilización nitrogenada eleva la rentabilidad del agua de riego y viceversa.

Sin embargo los estudios sobre la fertilización fosfatada y potásica son menos frecuentes y las conclusiones que de ellos se deducen un tanto inciertas. De aquí el fundamento de nuestras experimentaciones con distintos niveles de fertilización nitrogenada, fosfatada y potásica y varias frecuencias de riegos. Encontrando para la relación nitrógeno/agua, un comportamiento parecido que al observado por la mayoría de los investigadores que nos antecedieron.

Por otra parte las conclusiones a que hemos llegado, al estudiar el efecto de los fertilizantes fosfatados y potásicos con distintos niveles de humedad son muy interesantes por las novedades que aportan y la garantía de realidad que ofrecen dada la frecuencia con que se repiten a lo largo de las distintas experiencias, y que constituyen, así mismo, resultados de gran interés práctico.

El estudio de la nutrición mineral en función de la humedad del suelo es bastante compleja, pues entran en juego toda una serie de variables que, de una forma u otra, van a influir en la concentración de nutrientes en la planta, módulo empleado para medir la nutrición vegetal.

Entre los factores que influyen en la nutrición y vienen gobernados por la humedad del suelo, podemos citar: temperatura del suelo, presión de  $O_2$  y  $CO_2$ , factores fisiológicos que son aceptados por el déficit o exceso de humedad, solución del suelo, etc. A continuación hacemos un estudio de estos factores.

### La temperatura del suelo

Al aumentar la humedad del suelo aumenta con ella la capacidad calorífica del mismo, lo que hace mas difícil la elevación de la temperatura; así se definen como suelos fríos aquellos que se mantienen continuamente húmedos, por el contrario - los suelos templados o más cálidos son los que por su condición física, fácil drenaje y poca capacidad de retención del agua, están frecuentemente secos.

Esta influencia de la humedad en la temperatura del suelo es de suma importancia en la nutrición, ya que la absorción de sales por la planta tiende a incrementarse con la elevación de la temperatura hasta llegar a un máximo a partir del cual decreciendo, máximo que está comprendido generalmente entre los 35 y 40° C.

Son varios los trabajos que estudian la nutrición mineral en función de estas dos variables: humedad y temperatura del suelo (87), (21), presentándose generalmente una acusada interacción entre ambas. Power y col. (114) presentan un estudio de la

encontrando que las bajas temperaturas producen un descenso en el contenido de nutrientes de la planta. La mayor parte de la bibliografía revisada por estos autores coincide con sus resultados.

Se observa pues, un cierto paralelismo entre la elevada humedad del suelo y las bajas temperaturas en la nutrición vegetal, ya que ambas tienden a disminuir la concentración total de nutrientes en la planta.

### Presión de $O_2$ y $CO_2$

Otro factor que influye en la nutrición mineral y que a su vez está regulado por la humedad es la presión del oxígeno y dióxido de carbono en el suelo.

Al aumentar la humedad y ocupar el agua los poros existentes entre las partículas del suelo, la presión del  $O_2$  disminuye ostensiblemente, impidiendo que las raíces puedan respirar normalmente; proceso éste que tiene gran influencia en la nutrición vegetal, pues la energía desprendida en la respiración parece que se consume en el transporte de los iones desde las raíces al interior de la planta (128).

La proporción de  $CO_2$  viene igualmente regulada por la humedad del suelo, pero la forma contraria, al aumento de humedad corresponde uno de  $CO_2$ . Este gas desprendido en la respiración de las raíces e impedido de alcanzar la superficie libre se acumula en el suelo hasta influir en la asimilabilidad de muchos nutrientes, y si llega a una concentración alta puede ser tóxico.

Danielson y Russell, (31) estudian la absorción de  $Hb$  con distintos grados de humedad y aireación en las plantas de maíz, observando como el nivel crítico del  $O_2$  disminuye al incrementar la tensión de humedad, es decir, disminuye el efecto



que una deficiente humedad en el suelo es sinónimo de una alta tensión.

Moss (104) explica la poca absorción del potasio cuando la humedad es muy alta por la carencia de oxígeno en los poros del suelo; observando que a medida que los poros quedan libres, aún con humedad alta la absorción de potasio aumenta.

La relación entre la humedad del suelo y la aireación se comprueba en el trabajo de Letey y col. (85) que estudian el efecto de la aireación en la nutrición de la cebada, encontrando que a medida que la aireación aumenta, los porcentajes de N, K, Na y Cl, se elevan, siendo poco significativas las diferencias para el fósforo. Resultados comparables a los obtenidos por la mayoría de los investigadores que estudian la nutrición en función de la humedad, si se equipara la poca humedad en el suelo con los altos porcentajes de  $O_2$ .

Al estudiar la nutrición potásica haremos hincapié nuevamente en la influencia de la aireación y su relación con la humedad del suelo.

### Factores fisiológicos

La concentración de nutrientes en la planta depende a su vez de la respuesta de la raíz a la humedad del suelo. Así se han visto que tanto los suelos secos (90), (112) como los excesivamente húmedos (66) (67) (80) perjudican a la raíz e influyen en su capacidad de absorción de nutrientes.

También el mayor o menor desarrollo radicular, hace que la planta pueda disponer de los nutrientes contenidos en el suelo de una forma más o menos total. En líneas generales podemos decir que un aumento de la humedad provoca un mayor desarrollo radicular (49).

de los nutrientes al impedir su movilidad en el suelo para que puedan llegar a las raíces. La mayor capacidad que poseen las raíces para absorber nutrientes en condiciones de mayor humedad, queda contrarrestada por el mayor desarrollo vegetativo que tiene lugar en estas condiciones, dando lugar a que en las plantas se presente una menor concentración de nutrientes, debido a un efecto de dilución.

Lo contrario ocurre con las plantas cultivadas con bajo contenido de humedad. En este caso, el menor desarrollo, hace que los nutrientes se presenten en una mayor concentración, pues los nutrientes absorbidos no se emplean en la formación de nuevos tejidos, al carecer la planta de un elemento tan necesario para su desarrollo como es el agua.

No obstante, Brown (11) pone en tela de juicio esta afirmación y sugiere la hipótesis de que las transformaciones fisiológicas que sufre la planta por un déficit de humedad son debidas a la calidad y cantidad de nutrientes que la planta asimila en estas condiciones y no al déficit de agua en sí.

Un factor muy importante del efecto de la humedad sobre la concentración de nutrientes en la planta es el tipo o especie de la misma, pues cada variedad puede reaccionar de distinta forma, frente a varios niveles de humedad en la nutrición mineral. Corrobera la importancia de este factor el caso que presenta James (71) con dos variedades de remolacha desarrolladas bajo las mismas condiciones, en el que en una variedad el contenido de K en la planta aumenta con la humedad y en otra disminuye.

Teniendo en cuenta la duración del cultivo podemos clasificar a las plantas en dos grandes grupos: anuales y perennes.

La diferencia estriba en que aquellas plantas que se mantienen durante varios años a un nivel hídrico determinado van a tener un sistema radicular con unas características propias a

bilidad y distribución de nutrientes en el suelo que indudablemente afectan a la nutrición mineral.

Per el contrario, en las plantas de ciclo corto estos transtornos se darán con menor intensidad, dado el poco tiempo que dura el cultivo; y así se podrá estudiar mas directamente la influencia de la humedad del suelo en su nutrición. Per esta razón la mayor parte de los estudios se han hecho en plantas anuales que responden rápidamente al tratamiento hídrico.

En el siguiente cuadro sinóptico se expresan la influencia de la humedad del suelo en la concentración de nutrientes en la planta. Indicando el tipo de la misma y la referencia bibliográfica.

El significado de los signos empleados en este cuadro es el siguiente:

+.....: La concentración aumenta al disminuir la humedad.

-.....: La concentración aumenta con la humedad.

0.....: La concentración no varía con la humedad.

## NUTRICION MINERAL SEGUN LA HUMEDAD DEL SUELO

Planta	Referencia	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Lechuga	119	0	0	0	0	0		
"	45	-	-	-	+	+		
Mais	100	+	+	+	-	+		
"	74	+	-	+	+	+		
"	46					+		+
"	97		-	-		-		
"	53	+	-	-	0	0		
"	52	+	-	-	0	0		
"	155		-					
"	9	+		+				
Tomate	19	+	+	+	+	+	+	
"	19	-	-	+	+	-	+	
"	39	+	-	+				
"	58	+						
"	47	+	-					
"	21	+	-	+	+	+		
"	22	0	-					
Remolacha	55	0						
azucarera	82			+				
Tabaco	48	+		+				
"	72			-				+
"	96	+	0	-				
Habas	139	+	+	0	0	+		
"	71	+	+	-	+	+		
Cebada	85	+	0	+			+	+
Trigo	70	+	-					
Alfalfa	30		-		+			
Sergo	123		-	+				
Rábano	104			+	+	+		
Cacao	13	+	0	+	+	+		
Fresa	20	+	-	0	+	-		
Apio	18	+	-	+	+	+		
Soja y haba	27			+				
Forrajes	79	0	-	0	0	0		
Durazno	64		-	-	+	+		
Malocotón	42	0	-	-		0		
"	103	+	0	-	-	-		
Albaricoque	10	+	-	-		+		
Distintos	68	+			+			
árboles								
Cítricos	81	0		0	-			

por la humedad del suelo pueden influir en la concentración de nutrientes en la planta. De aquí que se presenten distintos comportamientos en la nutrición mineral al estudiarla en función de la humedad del suelo, pues en unos casos pueden intervenir unos factores y en otros no, haciendo así que un mismo nutriente varie de diversas formas al variar la humedad, aún para una misma planta, como se observa en el cuadro sinóptico adjunto.

No obstante se aprecia que las mayores variaciones se producen en los nutrientes no plastificantes K, Ca y Mg; es decir elementos que no entran a formar parte de una forma fija en los tejidos vegetales, y cuya concentración en la planta pudiera estar regulada más que por las características fisiológicas de las plantas, por el tipo de suelo sobre el cual se desarrolla; de aquí el interés que tiene el señalar las características del suelo sobre el cual experimentamos; factor éste que volveremos a subrayar en "Las consideraciones generales y plan de trabajo".

En nuestro trabajo con lechuga romana se nos presenta este comportamiento irregular para los nutrientes K, Ca y Cl; observándose que unas veces la concentración aumenta con la humedad y en otras disminuye. La explicación de este comportamiento la encontramos en la fertilidad potencial del suelo.

### SOLUCION DEL SUELO

La solución del suelo comprende al agua, y las sales en ella disueltas, que se encuentra retenida en los espacios libres del suelo contra la acción de la gravedad. Para un suelo en particular, la concentración de la solución es inversamente proporcional al contenido de humedad. Esta relación se cumple muy bien para los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$  nutrientes que se presentan generalmente

La concentración de fosfatos es casi independiente del contenido de humedad; posiblemente porque la solución está saturada de estos iones y al diluirla pasan nuevos iones de la fase sólida a la solución (125).

Al disminuir la humedad, la concentración de sodio y potasio tiende a elevarse, pero a una velocidad mucho menor que la de los iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . Lo que hace suponer la existencia de un equilibrio entre la fase sólida y la solución, por el cual los cationes monovalentes pasan a la fase sólida cuando la solución aumenta de concentración, es decir cuando la humedad del suelo disminuye. Razonamiento que está de acuerdo con el equilibrio Donnan como más tarde veremos (138). Esta misma tendencia es observada por Schuffelen (128) encontrando que la razón  $\text{K/Ca}$  en la solución, aumenta con la humedad del suelo.

La capacidad de cambio de los suelos parece que también varía con el grado de humedad, influyendo así en la composición de la solución del mismo. Brown (11) estudia este problema encontrando que los porcentajes de saturación para los cationes divalentes  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$  aumentan con la humedad del suelo mientras que la de los monovalentes  $\text{K}$  y  $\text{Na}$  disminuyen. Resultados que como los anteriores están de acuerdo con el "efecto de valencia" con la dilución, según el equilibrio Donnan.

Las modificaciones que tienen lugar en un suelo cuando la humedad se eleva de una forma tal que lo mantenga continuamente anegado, son de sumo interés en el estudio del desarrollo y nutrición de la planta. Pues con esta humedad, se crean unas condiciones anaerobias que afectan al grado de oxidación tanto de los compuestos orgánicos como inorgánicos, encontrán-

a ser tóxicas, cuando la humedad del suelo es excesiva (61) y (122).

La falta de humedad en el suelo influye a su vez en las deficiencias de oligoelementos. De éstas la más conocida es la del Boro que normalmente se presenta en años muy secos, Richards y Wadleigh (122) dan varias razones que podrían explicar esta deficiencia.

### RELACION NITROGENO-HUMEDAD

El estudio de la relación nitrógeno-agua, como el resto de las relaciones a estudiar, se puede dividir en dos apartados: uno que estudie el comportamiento de los compuestos nitrogenados en el suelo en relación con el agua y otro que comprenda la nutrición nitrogenada de la planta en función de la humedad del suelo.

#### Relación Nitrógeno-Humedad en el suelo

La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra formando parte de la materia orgánica del mismo y representa aproximadamente el 99% del nitrógeno total, sólo puede un 1% se encuentra en forma inorgánica.

Para que el nitrógeno sea asimilable es necesario que se encuentre en forma inorgánica y la transformación del uno al otro tiene lugar mediante el proceso de mineralización que comprende dos etapas: amonificación y nitrificación. Etapas estas que están ampliamente gobernadas por la humedad del suelo, como seguidamente veremos.

Black (6) presenta un interesante estudio sobre la formación de iones amonio y nitrato en un suelo, cuando se les somete a diferentes tensiones de humedad. Se observa en dicho estudio, como en los niveles bajos de humedad la concentración de nitratos es superior a la de amonio, aumentando las dos han

el que la velocidad de formación de ambos iones es igual. Al seguir aumentando el nivel hídrico, las concentraciones disminuyen haciéndolo rápidamente la de los nitratos que llegan a anularse cuando la humedad es del 80% mientras que la del amonio sigue descendiendo pero sin llegar a anularse.

Esta progresiva disminución de la concentración de nitratos a medida que la humedad aumenta tiene su fundamento en que los procesos de nitrificación se van paralizando por la inactividad de las nitrobacterias ante las condiciones anaerobias que crea el exceso de humedad (86). A la vez que tiene lugar un proceso de desnitrificación por el cual los  $\text{NO}_3^-$  son reducidos a  $\text{NO}_2^-$  y luego a  $\text{N}_2\text{O}$  ó  $\text{H}_2$  que pasan a la atmósfera; aspecto éste que es ampliamente estudiado por Pearsall (111).

Por el contrario en suelos con poca humedad la producción de  $\text{NO}_3^-$  parece estar más limitada por la carencia de nitrógeno que por la poca humedad, lo que hace suponer que en estas condiciones la nitrificación del nitrógeno no es factor limitante. Nevegradsky (107) estudia la nitrificación en estas condiciones, encontrando que ésta no tiene lugar cuando el contenido de humedad es el del coeficiente higroscópico, pero sí cuando la humedad del suelo es vez y media la de este coeficiente y que se equipara al punto de marchitamiento.

Reitmeier (121) supone que la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  en la solución del suelo, a medida que la humedad disminuye, se debe a la pequeña retención de estos iones por el complejo adsorbente del suelo.

A resultados análogos llega Wetselaar (157) al estudiar la concentración de estos iones en las capas más altas de un suelo, durante una estación seca.



tracción de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo, se de esperar que aquéllas plantas desarrolladas en suelos con una elevada tensión de humedad sean más ricas en compuestos nitrogenados que aquéllas otras que se han desarrollado en mejores condiciones hídricas. Suposición que se confirma en el siguiente apartado.

#### La nutrición nitrogenada en función de la humedad

El efecto de la humedad del suelo en la concentración de nitrógeno en la planta es bien claro, pues se observa que en la mayoría de los casos estudiados la concentración de nitrógeno aumenta a medida que la tensión de humedad se eleva. Este comportamiento se puede apreciar en el cuadro sinóptico de la página (10 ) en el que se observa que la casi totalidad de los trabajos expuestos presentan este mismo comportamiento.

Wadleigh y Richards (122) (1951) realizan una extensa revisión bibliográfica sobre la nutrición en función de la humedad, encontrando para el nitrógeno esta misma tendencia que observamos en nuestro estudio bibliográfico.

Los interesantes trabajos de Werner (161) y Goodall (51) quizá puedan servirnos para explicar el comportamiento de la relación nitrógeno-agua en la nutrición vegetal.

Werner (161) estudia en el café las aperturas de los estomas, encontrando que esta apertura es directamente proporcional a la humedad del suelo y a la fertilización nitrogenada, aumentando con ambos factores las pérdidas por transpiración.

Goodall y col. (51) estudian en la lechuga el contenido de humedad para distintos niveles de fertilización nitrogenada, encontrando que a medida que la riqueza de nitrógeno en la planta aumenta, disminuye su porcentaje de humedad.

De estos dos trabajos parece deducirse que es incompati

planta, con lo que se confirma así el comportamiento que hemos citado.

La bibliografía sobre la influencia de la humedad en la concentración de nitratos en la planta, no es tan abundante, sólo unos cuantos trabajos estudian este aspecto de la nutrición y se limitan a exponer los resultados analíticos obtenidos.

Cannell (18) encuentra que el contenido de nitratos en los peciolo del apio aumentan con la tensión de humedad; observando que a medida que el ciclo de cultivo avanza las diferencias de concentración entre los distintos niveles de humedad son mayores.

Hanway (60) cultiva plantas de maíz y soja con distintos niveles de fertilización nitrogenada y de humedad, observando que las plantas desarrolladas en el suelo más seco tienen una mayor concentración de nitratos que aquéllas cultivadas con una buena humedad.

A conclusiones análogas llegan Mackenzie y col. (90) en plantas de algodón.

No obstante Haddock (55) no encuentra variación en el contenido de  $\text{NO}_3^-$  en los peciolo de la remolacha azucarera.

Madison y col. (91) presentan una revisión sobre la acumulación de nitratos en la planta cuando está sometida a altas tensiones de humedad. Exponen que la nitrificación puede tener lugar aún a elevadas tensiones de humedad, dando lugar a una mayor absorción de iones  $\text{NO}_3^-$  por la planta, no obstante su déficit interno de humedad impide la reducción de este ión y la subsiguiente formación de aminoácidos, por lo que se produce una acumulación de nitratos en la planta.

Hibbard y col. (64) suponen que la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la planta al aumentar la tensión de humedad es debida a la fijación que estas condiciones tiene lugar para el P y el K.

por Haddeek la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la planta tiende siempre a aumentar a medida que la tensión de humedad aumenta. Tendencia ésta que ya presumíamos al estudiar la nitrificación según el nivel hídrico del suelo.

### RELACION FOSFORO-HUMEDAD

El estudio de esta relación se puede hacer, como en el caso anterior, en dos apartados: uno que comprenda el estudio del nutriente mineral en el suelo y su relación con el agua; y otro segundo que comprenda la absorción de este elemento por la planta en función del nivel hídrico del suelo.

#### La humedad y el P del suelo

El estudio de la relación fósforo-agua, en el suelo, es de sumo interés ya que nos puede aclarar el comportamiento que luego van a tener estos dos factores en la nutrición y producción vegetal.

Los trabajos sobre la concentración de P en la solución del suelo indican que ésta permanece casi constante con las variaciones de humedad. Russell (125) supone que este comportamiento es debido a que la solución se presenta saturada de fosfatos y por tanto un aumento en la humedad del suelo produce una mayor disolución de estos aniones, para así restablecer el equilibrio y mantener la misma concentración en la solución.

Esta acción del agua se ve favorecida si el suelo es marcadamente ácido, pues en este caso los fosfatos neutros se transforman en sales ácidas que son mucho más solubles en el agua.

Esta mayor solubilidad justifica la pérdida de P que tienen los suelos ácidos durante una estación de lluvias y que son citados en varios trabajos (105) (126). La solubilidad de

lizante nitrogenado que se añada al suelo; así Euminger y Cope (40) observan que si se fertiliza con sulfato amónico, sal biológicamente ácida, las pérdidas aumentan respecto a cuando se hace con un nitrato.

Vemos pues, como la humedad y acidez facilitan la solubilidad de los fosfatos poniendo de esta forma a disposición de las plantas una mayor cantidad de fósforo. Y que se traduce en una mayor riqueza de P en las plantas cultivadas con elevada humedad o con un pH en el suelo ligeramente ácido como veremos seguidamente.

### Absorción del P por la planta según la humedad del suelo

La mayoría de la bibliografía estudiada está de acuerdo con el efecto de la humedad en la nutrición fosfatada y que se manifiesta por un aumento del porcentaje de P en la planta a medida que la humedad del suelo se eleva.

En el cuadro sinóptico (pags. 10) se puede apreciar este fenómeno, pues de 29 trabajos revisados en 21 se aprecia que el P aumenta con la humedad, en 5 no varía y solo en 3 el porcentaje disminuye al aumentar la humedad.

Exponemos a continuación los principales trabajos realizados sobre este tema y cuyos autores sugieren las causas que podrían explicar este comportamiento de la nutrición fosfatada.

Las razones que se aducen son varias y de distinta índole; el mayor desarrollo radicular y la mayor difusión de las iones  $PO_4^{3-}$  cuando la humedad es alta son citados con frecuencia para explicar este comportamiento (37) (32).

Según Fried y col. (44) la velocidad con que se renueva el fosfato en la solución del suelo es mucho mayor que la capacidad de las raíces para absorberle, indicando que la velocidad de absorción está gobernada por la planta. No obstante, cuando el volumen efectivo de suelo a que alcanzan las raíces es pequeño, la absorción está regulada por la rapidez con que el suelo cede

distintos comportamientos de la humedad según la magnitud de dicho volumen de suelo.

El movimiento del agua en el suelo y su efecto en la nutrición fosfatada es estudiado por Shapiro (130), encontrando que este movimiento hace elevar la concentración de P en la planta. Estudia luego el efecto de la transpiración en la absorción de este ión y observa que, al aumentar las pérdidas de agua, la concentración de P aumenta; efecto que es de esperar, pues al aumentar la transpiración el movimiento del agua en el suelo aumenta también, produciéndose de esta forma una mayor absorción del P. Llega a la misma conclusión Mederski (97). No obstante Thorne (141) encuentra una tendencia totalmente opuesta.

Varios autores suponen que este comportamiento del P con la humedad se debe a las variaciones fisiológicas que tienen lugar en la planta, según el nivel hídrico al que esté sometido. Así Skoss (131) supone que la mayor absorción de P, cuando la tensión de humedad es alta, es debido a que las plantas que se desarrollan en estas condiciones de humedad, tienen una cutícula mas gruesa.

Olsen y Watanbe (108) concluyen que es la humedad de las raíces, la que regula la absorción de P por la planta.

Hutcheon y col. (70) suponen que la menor absorción del P cuando la tensión de humedad es elevada se debe a alguna de estas razones:

a) - La sequía puede causar algún daño en el mecanismo de las raíces para la absorción de este elemento.

b) - La absorción del P por las raíces puede variar al modificarse las propiedades físicas del agua del suelo.

c) - Las fluctuaciones en la tensión de humedad pueden hacer variar los procesos metabólicos de la planta dificultando la absorción de este elemento.

nerasimilabilidad del P en la sequía por una mayor fijación de los fosfatos, y que según estos últimos depende del contenido en arcilla del suelo.

Watanabe y col. (155) estudian la absorción de P a distintos niveles de humedad, encontrando que la concentración de este elemento es función de la humedad. Al comparar la absorción por las plantas cultivadas en el suelo y en solución nutritiva de una riqueza igual en fosfatos, encuentran que la concentración de P en las plantas cultivadas en el suelo es mucho menor que las cultivadas en solución nutritiva. Parece pues, que el suelo establece un factor limitante en la absorción de este elemento, factor que se eleva cuando la razón agua/suelo disminuye.

Goodall (51) estudia el proceso contrario, es decir, la humedad de la planta en función de la fertilización fosfatada. Encontrando la misma relación lineal que se observa en la mayor parte de la bibliografía, es decir, el porcentaje de humedad es función de la dosis de P.

La influencia de la humedad en la absorción de P por la planta se pone también de manifiesto en las experiencias de Coleón (26) que encuentra como un riego durante una estación seca es más efectivo que una fertilización fosfatada, para elevar el contenido de  $P_2O_5$  en la planta.

Son varios los autores que suponen que esta mayor absorción de  $PO_4^{=}$  con la humedad es debido a la pequeña concentración de  $NO_3^-$  que presentan las plantas en estas mismas condiciones (5), (12), (29).

Como se deduce de este estudio bibliográfico la generalidad de los trabajos sobre la nutrición fosfatada en función de la humedad del suelo llegan a la misma conclusión: la humedad

No obstante las causas que motivan este comportamiento no están claras, y las razones que se aducen para explicar este comportamiento no llegan a hacerlo de una forma total.

Afrontar este estudio con plantas desarrolladas en dos tipos de suelos de características totalmente opuestas en cuanto a su poder de fijación, pues empleamos uno arenoso y ácido que tiende a solubilizar los fosfatos y otro arcilloso y rico en calcio que tiende a fijarlo, ofrece la posibilidad de conocer más a fondo la relación existente entre la nutrición fosfatada y la humedad del suelo.

A su vez el determinar la concentración de fosfatos que permanezcan en la savia en su forma iónica, no el P total como determinan la mayor parte de los investigadores, nos puede suponer una ventaja en el estudio de la nutrición de este ión.

#### RELACION POTASIO-AGUA

El estudio de esta relación es de sumo interés, dada la íntima relación que existen entre las dos sustancias. En primer lugar el potasio sirve de regulador en la economía del agua por la planta, influyendo en el coeficiente de evapotranspiración. A su vez es el agua la que controla la asimilabilidad y absorción del potasio.

El estudio de esta relación se puede desglosar pues, en dos apartados:

- 1ª) - Relación potasio-agua en el suelo.
- 2ª) - Relación potasio-agua en la planta.

Desde el punto de vista químico Wiklander (159) clasifica el K del suelo en cuatro grandes categorías: Potasio en las estructuras cristalinas, no cambiabile, cambiabile y soluble en agua. Aún cuando, hemos de hacer constar que a nuestro juicio es una clasificación poco precisa, ya que en realidad las diferencias entre el K de las mallas cristalinas y el fijado no son muy apreciables.

El primer tipo es el que se encuentra formando parte de los minerales del suelo, no es asimilable por las plantas y constituye la casi totalidad del potasio del suelo.

Potasio no cambiabile, es la fracción que se encuentra retenida por las partículas del suelo y no es reemplazable por sales neutras y por tanto no asimilable por la planta.

Potasio cambiabile, es el absorbido por el suelo y fácilmente reemplazable por sales neutras, es asimilable por la planta y sólo representa en la mayoría de los suelos el 1% del potasio total.

La fracción soluble en agua y que se encuentra en la solución del suelo es la mas pequeña de estas cuatro y por lo general comprende sólo el 0,01% del potasio total del suelo.

Por efecto del lavado los contenidos de potasio cambiabile y soluble son pequeños en los suelos húmedos, elevándose al pasar a regiones más áridas.

Las relaciones entre el potasio asimilable, sea cambiabile o soluble en agua y el no asimilable parecen estar estrechamente reguladas por el nivel hídrico del suelo. Los primeros trabajos que se encuentran en la bibliografía sobre este tema de la



a la humedad como regulador de este proceso. Así encontramos que Volk (153) (1934) al fijar las condiciones indispensables que debe reunir un suelo para que tenga lugar la fijación de potasio, señala en primer lugar "el papel importantísimo de secar el suelo".

No obstante Attos (2) (1949) encuentra que en algunos casos la fijación tiene lugar si se fertiliza con sales potásicas aún manteniendo al suelo continuamente húmedo. Por el contrario cuando no se fertiliza pueden ocurrir los dos casos posibles: se fija o se hace cambiante. Aquí parece tener lugar un equilibrio reversible de las siguientes naturaleza.

K fijado  $\xrightleftharpoons{A}$  K cambiante  $\xrightleftharpoons{B}$  K hidrosoluble, presentando el equilibrio A una fuerte histéresis.

Más tarde Stanford (136) (1950) demuestra que la fijación del K según la humedad del suelo, depende del tipo de arcilla que predomina en el mismo encontrando que la illita fija potasio en condiciones de humedad elevada y la montmorillonita no, mientras que una vez secos lo fijan las dos.

Vemos pues, que la asimilabilidad del potasio depende del nivel hídrico del suelo y del tipo de arcilla que predomina en el mismo. Por esta razón la asimilabilidad varía cuando el suelo está sometido a un tratamiento cuya humedad oscila entre amplios límites, pues se presentarán en él, fenómenos de fijación y de liberación, con la particularidad de presentar histéresis entre el K fijado y el cambiante y que contribuyen a una mayor variación del K asimilable.

Indudablemente estas fluctuaciones del K asimilable influyen en la nutrición potásica y el distinto comportamiento que presenta la concentración de este elemento en la planta con las variaciones de la humedad del suelo, bien pudiera ser debido a las variaciones que sufre el contenido de potasio asimilable.

El estudio de la interacción Potasio-agua en relación con la planta ha sido estudiado extensamente por el papel que juega este nutriente en la economía del agua. La bibliografía sobre este tema es abundante, pero existe una cierta confusión entre las conclusiones, ya que las condiciones experimentales no están bien definidas lo que conduce a resultados frecuentemente contradictorios.

Black (6) distingue cuatro aspectos diferentes en esta interacción.

A) - Influencia específica del K sobre el metabolismo del agua, en particular sobre la transpiración.

B) - Influencia del potasio sobre el volumen del agua necesaria para producir una cantidad dada de materia seca.

C) - Estudio del efecto de las sales potásicas en la absorción de agua, ya que su presencia en el suelo eleva la presión osmótica de la solución, que a su vez influye en la tensión total de humedad.

D) - Interacción potasio-agua en la producción, aspecto que ha sido muy poco estudiado.

La influencia de la nutrición potásica en la transpiración ha sido estudiada por Mann (92) observando que las pérdidas de agua por transpiración son mucho mayores en las plantas que presentan deficiencia potásica. Blanchet (7) estudia este mismo aspecto, encontrando que la fertilización potásica hace disminuir las pérdidas para las plantas de alfalfa; no obstante para el trébol y ray-grass no observa efecto alguno.

Son varios los autores que observan este comportamiento del fertilizante potásico en la economía del agua, Prevot (117) y Humbert (69) encuentran que el grado de hidratación de

en la planta. De lo anterior parece deducirse que la buena nutrición potásica hace disminuir la transpiración de la planta, elevando así su porcentaje de humedad.

Sin embargo en nuestras experiencias no hemos observado efecto alguno de la fertilización potásica en la transpiración.

### La nutrición potásica en función de la humedad del suelo

El efecto de la humedad en la concentración de K en la planta no nos ofrece un comportamiento tan regular como el que hemos observado para el N y P. Así podemos apreciar en el cuadro sinóptico (pag. 10) que de los 32 trabajos que citan al K en 11 la humedad hace elevar la concentración de este nutriente, mientras que en 16 la disminuye.

A su vez son varios los autores que encuentran los dos tipos de tendencias entre ellos hemos de distinguir a Arnon (1), quién en su trabajo trata de explicar las causas que motivan esta dualidad. Para ello supone que la menor concentración que presentan las plantas que han estado sometidas a elevadas tensiones puede ser debida, a) al menor desarrollo radicular y muerte de los pelos radiculares como consecuencia del déficit de humedad y, b) a la pequeña asimilabilidad del K, debido a la gran fijación que tiene lugar en estas condiciones.

Cuando se presenta el comportamiento contrario, es decir, que la concentración disminuye con la humedad del suelo, supone que es motivado por la pequeña aireación de las raíces dado que en estas condiciones el agua ocupa los poros del suelo e impide una normal respiración.

Según la persistencia con que se presenta la deficiencia potásica en la planta, Wallace (154) clasifica los suelos en tres categorías: (A) Suelos de textura gruesa; (B) Textura areno-

den el drenaje.

Las deficiencias potásicas pueden ser corregidas mediante la fertilización en el primer tipo de suelo, pero no en el (B) y (C); por ésto concluye que para la buena nutrición potásica más que el contenido potásico del suelo es necesario la buena estructura del mismo.

Supone a su vez que el mayor desarrollo de la planta debido a una buena humedad en el suelo puede motivar un "efecto de dilución" en la concentración de este nutriente en la planta.

Larson (82) estudia, en la remolacha azucarera, el efecto de la fertilización potásica en la producción y nutrición de esta planta, observando que las plantas cultivadas con una elevada humedad presentan deficiencias de potasio. El efecto de la fertilización potásica en la producción fué mayor cuando los suelos tenían una mala estructura física o se mantenían continuamente húmedos; es decir, cuando la nutrición estaba impedida por la mala aireación.

Este autor encuentra que las deficiencias de potasio se deben en su mayoría a las siguientes causas: (A) Malas condiciones físicas del suelo. (B) Excesiva humedad, (C)  $\text{CO}_2$  libre en la solución del suelo. (D) Plantas que requieren mucho potasio, caso de la remolacha.

El efecto de la poca aireación y la consiguiente acumulación del  $\text{CO}_2$  en el suelo, y su influencia en la nutrición potásica de las plantas es estudiado por Lawton (83) encontrando que cuando los poros del suelo fueron eliminados por compactación o por una excesiva humedad, se alteró la absorción del potasio presentando las plantas deficiencias de este nutriente. A resultados análogos llegan varios autores más (9) (65).

ción vegetal vendrá a su vez gobernado por la influencia de la humedad en la absorción de este nutriente. Así encontramos que cuando la humedad hace disminuir la concentración de este elemento en la planta, el efecto de los fertilizantes potásicos es más efectivo en los tratamientos más húmedos (147).

Por el contrario cuando la humedad facilita una mejor nutrición, la efectividad del K es mejor en los tratamientos de menor humedad (125) (128).

Volk (152) señala la absorción del K cuando la humedad del suelo es inferior al punto de marchitamiento. La explicación que da a este fenómeno es la siguiente: las raíces exudan agua en las zonas secas que más tarde absorben de nuevo pero ya en forma de solución, en la que está disuelto el potasio.

Un error que encontramos en la mayor parte de la bibliografía que hemos examinado es el de no especificar hasta qué punto el déficit de humedad reduce la producción vegetal, pues así se sabría si se puede presentar o no el "efecto de dilución".

Por lo encontrado hasta aquí el comportamiento del potasio con la humedad del suelo está estrechamente relacionado con la estructura física del mismo. El estudio de la nutrición con distintos tipos de suelos y con varios niveles de humedad y de fertilización sería de sumo interés para conocer más a fondo el efecto de la humedad en la nutrición potásica.

En nuestro trabajo estudiamos la nutrición potásica de la lechuga romana en función del nivel hídrico del suelo y del nivel de fertilidad del mismo, para ello empleamos dos tipos de suelo, uno de ellos en el que el exceso de humedad dificulta la aireación radicular, dado su carácter arcilloso, y otro arenoso en el que la humedad no limita tan fuertemente la concentración de  $O_2$  en los poros del suelo.

ción en la absorción de este ión no juega un papel tan fundamental como el desarrollado por la fertilidad del suelo.

### EFFECTO DE VALENCIA CON LA DILUCION. SEGUN EL EQUILIBRIO DONNAN

A pesar de todos los factores que, influenciados por la humedad, afectan a la nutrición, son varios los trabajos que intentan explicar la absorción de cationes por mecanismo físico-químico, como lo es el equilibrio Donnan. Y cuya fórmula viene dada por:

$$\frac{(M^+)_{i}}{(M^+)_{o}} = \frac{\sqrt{(M^{++})_{i}}}{\sqrt{(M^{++})_{o}}}$$

Según esta distribución de cationes entre la solución micelar ( )<sub>i</sub> y la solución externa ( )<sub>o</sub> una dilución o aumento de volumen favorece la absorción del catión divalente sobre el monovalente denominándose a este fenómeno "efecto de valencia" con la dilución. Para explicar ésto, supongamos una solución con  $Ca^{++}$  y  $K^+$  con actividades de 0,01. Al añadirse una partícula coloidal o micela, con capacidad de cambio de cationes, tanto los cationes monovalentes como los divalentes tratan de ser absorbidos por la partícula coloidal, con la dilución resultante de la solución exterior.

De la ecuación:

$$\frac{(K^+)_{i}}{(K^+)_{o}} = \frac{\sqrt{(Ca^{++})_{i}}}{\sqrt{(Ca^{++})_{o}}}$$

y si las actividades de  $(Ca^{++})_{o} = (K^+)_{o} = 0,01$  y  $(K^+)_{i} = 0,1$  se deduce que la actividad del  $Ca^{++}$  valdrá  $(Ca^{++})_{i} = 1$  y la proporción absorbida será de  $Ca/K = 10/1$ .

Si ahora consideramos una solución externa más diluida en la que  $(K^+)_{o} = (Ca^{++})_{o} = 10^{-4}M$  y si la actividad interna del

1 y la proporción absorbida de Ca/K será de 100 á 1; ha experimentado pues la partícula de arcilla un gran aumento de adsorción de  $\text{Ca}^{++}$  al pasar de una solución concentrada a una más diluida.

Muchos experimentos han demostrado que la dilución de un sistema agua/suelo, conteniendo cationes monovalentes y divalentes desplaza el equilibrio en tal dirección que la absorción de iones divalentes aumenta mientras que disminuye la de los monovalentes.

Al humedecerse un suelo por lluvia o riego la solución del mismo se hace diluida produciéndose una mayor adsorción de los iones divalentes y dando una desorción equivalente de iones monovalentes. Al secarse tiene lugar el proceso contrario, así las razones:

$$\frac{(\text{Ca} + \text{Mg})_1}{(\text{K} + \text{Na})_1} \quad \text{y} \quad \frac{(\text{K} + \text{Na})_0}{(\text{Ca} + \text{Mg})_0}$$

aumentan al humedecerse y disminuye al secarse (89) (158).

Estas variaciones de la concentración de nutrientes en la solución del suelo han sido comprobados por casi todos los investigadores que han tratado de estudiar este tema, entre ellos hemos de destacar Moss (104), Elgabaly y Wiklander (38), Breña (11), Sutcliffe (138) y otros muchos; encontrando todos ellos, que en la solución del suelo la razón cationes monovalentes/cationes divalentes se eleva a medida que la humedad aumenta.

### "Efecto de valencia" en la nutrición vegetal

Mattson (93) y Elgabaly y Wiklander (38) consideran al sistema suelo/planta como un sistema Donnan en el que se encuentran dos fases con capacidad de cambio catiónico, raíz y

bas capacidades.

Estudian la nutrición de la cebada cuando la hacen crecer sobre materiales de distinta capacidad de cambio. Emplean bentonita con alta capacidad de cambio y caolín que tiene un poder de cambio más pequeño. Observando que la razón  $\text{Ca/K}$  (Mattson) o la  $\text{Ca/Na}$  (Elgabaly y Wiklander) en las plantas es mayor en las cultivadas en caolín que las desarrolladas sobre bentonita.

Se observa pues, que la fase con elevada capacidad de cambio, bentonita, retiene más fuertemente los cationes divalentes, facilitando con ello una mayor absorción de los iones monovalentes por la planta.

Por un aumento de la humedad en el suelo, se produce, como consecuencia del efecto de valencia, una mayor adsorción de cationes divalentes; adsorción, que teniendo en cuenta lo anteriormente dicho se fijará en el suelo o en la planta, según la capacidad de cambio de ambas fases. Para suelos con capacidad de cambio inferior a la de la raíz, esta mayor absorción de cationes divalentes tendría lugar en la planta y así es de esperar que la relación  $(\text{K/Ca})_1$  tienda a disminuir a medida que la humedad aumenta.

Wiklander (158) al tratar este tema termina diciendo "hasta que punto y en que sentido las variaciones del contenido de humedad del suelo afectan a la toma de iones monovalentes y divalentes por las plantas constituye un problema sin resolver. Puede depender de la relación entre la capacidad de cambio de las raíces y la del suelo; cuando ésta relación es mayor que 1, el aumento del contenido de humedad debería favorecer la absorción de los iones divalentes si son tomados de la solución intercelular; mientras que con una relación inferior debería fa-



Los intentos de comprobar este "efecto de valencia" en la nutrición de la planta son varios, pero los resultados no son siempre los apetecidos.

Moss (104) estudia el efecto de la tensión de humedad, en el intervalo de pF (0-3), en el desarrollo y absorción de cationes por las plantas de rábano, encontrando que la tensión de humedad eleva la concentración de cationes tanto en el suelo como en la planta y observa que la composición de la solución del suelo responde a lo esperado para el "efecto de valencia".

Expresa la concentración de cationes en la planta por la fórmula  $\text{Log. } K^+ - 1/2 \text{ log. } (Ca^{++} + Mg^{++})$  es decir  $\text{Log. } K / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})}$  encontrando una marcada constancia para todos los niveles de humedad estudiados. No pudo comprobar "el efecto de valencia", ya que para comprobar tal efecto el valor de esta expresión, si las concentraciones se expresan en moles, debe ir disminuyendo a medida que la humedad aumenta.

El hecho de que la composición de la planta refleje la solución del suelo y no se ajuste a la teoría expuesta por Mattson y Wiklander le hace concluir "que las teorías de adsorción y cambio por contacto no juegan un papel significativo en la nutrición de la planta".

Crooke y Knight (26) afirman que la demostración experimental del "efecto de valencia" en la composición de cationes mono y divalentes en la parte aérea de la planta es muy difícil de comprobar, por estas razones:

1ª) - El máximo "efecto de valencia" sólo ocurre en soluciones muy diluidas, condición que probablemente no presentan los suelos agrícolas, generalmente más o menos fertilizados.

2ª) - Los cationes absorbidos por las raíces en la proporción determinada por el equilibrio Donnan son trasladados

no refleja la proporción en la que son adsorbidos por las raíces.

Como se puede observar la demostración experimental del "efecto de valencia" con la dilución en la composición catiónica de la planta sigue hasta nuestros días sin resolver.

Los trabajos que se hagan para intentar su comprobación serán de sumo interés por la actualidad e importancia del tema. Afrontar su estudio con una planta de elevada capacidad de cambio como es la lechuga y con dos tipos de suelos de alta y baja capacidad de cambio son factores que nos podría conducir a un resultado apetecido.

Las dificultades que citan Creeke y Knight (28) para la demostración experimental del "efecto de valencia" creemos que puedan ser superadas si las plantas se desarrollan en suelos con baja fertilidad o simplemente si lo hacen en pequeña cantidad del mismo, como lo son cuando las plantas se desarrollan en sólo 1 Kg. de suelo.

La segunda de las dificultades creemos eliminarla si se emplea como medio de control de la nutrición mineral de la planta el análisis de savia (63) pues en este caso sólo analizaremos los cationes que se encuentran en los tejidos conductores de los tallos y peciolo y que además se encuentran en la misma forma iónica en que han sido adsorbidos por la raíz, que puede reflejar así de una forma bastante aproximada la razón en la que son absorbidos por la planta.

## **COSNIDERACIONES GENERALES Y PLAN DE TRABAJO**

ción es abundantísima y en la actualidad se cuentan por centenares las revistas de investigación que están dedicadas a estos dos factores de la producción vegetal.

El efecto tanto de los fertilizantes minerales como el de la humedad del suelo en la producción vegetal está bastante estudiado para la mayoría de las plantas de interés agrícola, sin embargo el conocimiento que se tiene de la interrelación de estos dos factores en la producción y nutrición de las plantas es escaso. Este reducido conocimiento se debe, más que al número de trabajos realizados sobre este tema que son muchos como se aprecia por el estudio bibliográfico, a la gran confusión existente entre las conclusiones deducidas de los mismos. Blanchet (7) al estudiar la interacción Humedad-Fertilización potásica, concluye que esta confusión se debe en su mayoría a las distintas condiciones experimentales en las que se realizan estos trabajos.

Creemos que gran parte de esta confusión puede ser corregida si al estudiar dicha interrelación, se especifica el tipo de suelo en el que realizamos la experiencia, la fertilidad potencial del mismo y el carácter limitante que tiene la humedad en la producción. Pues, como se observa en el estudio bibliográfico, son muy pocos los autores que al estudiar la producción vegetal en función de las distintas dosis de fertilización y de humedad, especifican el tipo de suelo y la fertilidad del mismo. De la misma naturaleza son las omisiones, que se encuentran en los estudios de la nutrición vegetal en función de la humedad del suelo, pero agravadas, por no citar la variación que experimentan los rendimientos con los distintos niveles de humedad, pues este último dato lo consideramos fundamental para poder explicar las variaciones que experimenta la concentración de nutrientes en la planta.

los en los que se realizan las experiencias para estudiar la fertilidad y nutrición vegetal fué subrayado por la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo (142) (143), ya que en la Reunión de las Comisiones II y IV en Hamburgo (1958) se resaltó la importancia que tiene el consignar los tipos de suelo y factores climáticos, en todas las experimentaciones de fertilidad y nutrición vegetal; recomendando que se especifiquen estos extremos en todas las publicaciones y en consecuencia se propuso que en la siguiente Reunión de 1962 (Nueva Zelanda) se incluyera la Comisión V que comprende el estudio de los tipos de suelo y cartografía de los mismos, con la II y IV que comprenden a la fertilidad del suelo y nutrición vegetal.

Todo ésto nos indica pues, la estrecha relación entre la nutrición vegetal, fertilidad de suelos y tipo de los mismos; y todo estudio que se haga sobre alguno de estos aspectos, sea producción o nutrición vegetal, debe consignar las características del suelo en el que se realiza las experiencias. De aquí que gran parte de la bibliografía que existe actualmente sobre este tema, sólo tenga un valor relativo; pues la variación de la producción con una fertilización dada depende del nivel de fertilidad potencial que posea el suelo. Al no citar esta característica del mismo, el trabajo deja de tener un valor general, pues no se pueden aplicar sus conclusiones a otros estudios.

En nuestro trabajo tratamos de estudiar el efecto de la relación Humedad/Fertilización, en la producción de materia fresca, nutrición vegetal y variación en el contenido de nutrientes en el suelo. Para ello establecemos en distintos tipos de suelo varios niveles de humedad y fertilización. La producción que se obtiene en estos tratamientos se explica según la fertilidad y tipo de suelo, guiándonos siempre por el análisis químico que realizamos de suelos y plantas.

el análisis mineral de la savia extraída por prensado (63). Las variaciones que se nos presentan en la concentración de nutrientes en la misma se explican teniendo en cuenta las características del suelo y del tratamiento estudiado, siendo de fundamental importancia para esta explicación, la variación que experimentan los rendimientos con los distintos niveles hídricos y de fertilización.

El análisis de suelo se hace tanto al principio de las experiencias como al final de las mismas, tomándose en este caso, una muestra para cada tratamiento de humedad-fertilización. Las variaciones que se producen en el suelo se explican fácilmente por los valores que nos suministra la producción y nutrición vegetal.

Para poder mantener constantes varios factores que pudieran influir en el desarrollo y nutrición de la planta hemos optado por realizar el presente trabajo a escala de invernadero, lo que nos ha permitido trabajar en una condiciones más o menos constantes de luminosidad y temperatura ambiente.

El interés para proseguir estos trabajos fué señalado por Hagen (56) que textualmente dice: "Se necesita un mayor trabajo de equipo entre los especialistas de irrigación, especialistas en fertilizantes, técnicos agrícolas y otros, para acelerar el desarrollo de la información básica sobre las interrelaciones agua/fertilizantes e incrementar la veracidad de esta información, así como su plena utilidad para predecir las respuestas que deben obtenerse bajo estas nuevas condiciones".

Además este tema fué base de un proyecto aceptado bajo U.S. Public Law 480 y que no se llevó a efecto porque el C.S.I.C. tenía que sufragar al 50% del coste de las instalaciones, ya que posteriormente quedaban en su poder, pero que por el elevado coste de mantenimiento no podrían ser realmente utilizadas, después que el proyecto quedara terminado.

T E C N I C A S

I

M E T O D O S E X P E R I M E N T A L E S

Para la realización de nuestro estudio hemos elegido "Lechuga romana" como planta indicadora. Planta ésta que es aconsejada por Jenny (75) para medir la fertilidad y la respuesta a la fertilización en los suelos, y que Jimeno y col. (76), (77), han empleado varias veces con este mismo fin.

Las ventajas que ofrece esta planta para la realización de nuestro estudios son varias; en primer lugar su elevado porcentaje de humedad que nos permite extraer gran cantidad de savia por unidad de peso fresco. A su vez los numerosos trabajos realizados con esta misma planta en el Departamento de Fertilidad de Suelos del Instituto de Edafología y Biología Vegetal de Madrid, nos van a prestar una valiosa ayuda en la interpretación de los resultados.

Por último su rápido desarrollo acorta el tiempo de realización de las experiencias. En nuestro caso mantenemos a la planta en cultivo durante 80 días, lo que nos permite realizar dos o tres experiencias al año. No obstante esta planta con un periodo de desarrollo tan corto, nos ofrece serios problemas en la interpretación de los resultados de la nutrición mineral; pues son varios los factores, temperatura ambiente, fertilidad del suelo, etc. que pueden acelerar el, ya corto, ciclo vegetativo de la planta, haciendo variar la proporción de nutrientes en la savia (76).

### **Elección del tipo de suelo**

Para elegir los suelos en los que íbamos a realizar nuestras experiencias, se hizo un exhaustivo estudio de las influencias que podían tener las características del suelo elegido en los temas que queríamos abordar.



humedad en la nutrición potásica por crear varios autores que la humedad influye en la nutrición más que directamente, indirectamente, por regular la proporción de oxígeno en el suelo, creímos conveniente hacer el estudio en dos tipos de suelos, uno con la condición física necesaria para que el exceso de humedad no llegara a impedir una aceptable aireación de las raíces y otro que impidiera tal aireación.

A su vez, teniendo en cuenta el "efecto de valencia" en la nutrición vegetal, se creyó conveniente montar las experiencias en dos tipos de suelos: con alta y baja capacidad de cambio.

Por otra parte queríamos estudiar el efecto de la "superposición" humedad-fertilización en la producción y para ello necesitábamos suelos con baja fertilidad, para que no fuese siempre el agua el factor limitante en la producción.

Teniendo en cuenta todos estos requisitos nos decidimos por dos tipos de suelos que en líneas generales cumplen con las condiciones buscadas. Las características de estos suelos están esquematizadas en el cuadro nº 1. Por su composición mecánica, le denominamos "arcilloso" a uno y "arenoso" al otro.

El suelo "arenoso" fue tomado en la provincia de Badajoz y en la localidad de Puerto Urraco, pudiéndose clasificar por su origen como un suelo eoluvial, que por sus características hidromórficas podemos denominar de pseudogley.

El "arcilloso" fue tomado en Sarria (Pamplona) siendo un suelo franco-arcilloso sobre margas calizas.

Se observa que el suelo "arcilloso" tiene una elevada capacidad de retención de agua y de cambio catiónico. A la vez que podemos catalogarlo como de nivel medio en la riqueza de nutrientes.

**Análisis Físico y Químico  
de los suelos elegidos**

Determinaciones	Suelo "arenoso"	Suelo "arcilloso"
<u>Análisis granulométrico %</u>		
Arena gruesa	33,0	1,9
Arena fina	50,6	25,3
Limo	10,4	30,8
Arcilla	7,4	40,4
<u>Determinaciones físicas</u>		
Equiv. de humedad %	6,2	21,2
Coef. de marchitamiento %	3,3	10,3
Agua útil %	2,9	10,9
Densidad real	2,6	2,3
<u>Análisis químico</u>		
pH (H <sub>2</sub> O)	6,1	7,7
pH (ClH)	5,2	7,0
Mat. Org. %	0,47	1,38
Nitrógeno total %	0,028	0,129
Relación C/N	9,6	7,0
Carbonatos	-	41,5
<u>Asimilable mg/100</u>		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,5	10
K <sub>2</sub> O	8,5	29
Ca	58	490
Mg	1	5
<u>Capacidad de cambio (m.e./100)</u>		
Ca	0,8	20,87
Mg	0,1	1,18
K	-	0,33
Na	0,3	0,32
H	1,7	-
S	1,2	24,70
T	2,9	24,70
S/T.100	41,4	100,00

ja capacidad de cambio y de retención de agua, a la vez que posee un índice muy bajo de fertilidad.

### Sistema de riego

Al no poder contar con los suficientes tensiómetros para medir la tensión de humedad, ni con los conocidos bloques de yeso, que llevan en su interior unos electrodos que nos miden la conductividad de la solución del suelo y con ella el grado de humedad; hemos optado por el método de pesada de los tiestos, para controlar de esta forma la humedad del suelo.

Una vez conocida la capacidad de retención de agua por el suelo, es decir su "capacidad de campo" y su "coeficiente de marchitamiento", humedad del suelo a la cual la planta deja de crecer, calculamos por diferencia entre éstos dos valores, la "humedad útil del suelo" o porcentaje de humedad realmente utilizable por la planta.

A partir de este valor establecemos tres frecuencias de riego que nos permiten mantener en el suelo otros tantos intervalos de humedad útil. Según estas frecuencias de riego se establecen tres niveles de humedad que denominamos: Bajo (o riegos poco frecuentes), Normal (o riegos medianamente frecuentes) y Alto (con una elevada frecuencia en los riegos).

El nivel Bajo comprende un intervalo del 100 al 0% de humedad útil; es decir, los tiestos sometidos a éste intervalo, como al de los restantes, se les riega hasta su capacidad de campo, regándole nuevamente cuando su porcentaje de humedad llegue al del coeficiente de marchitamiento transitorio. El nivel "Normal" comprende un intervalo del 100 al 40% de la humedad útil; intervalo éste que establecimos después de una serie de experiencias previas y cuyo porcentaje inferior representa

una humedad a partir de la cual la planta empieza a sentir la escasez de agua. El nivel "Alto" comprende un intervalo del 100 al 80% de la humedad útil, y en el que el suelo está continuamente con un elevado porcentaje de humedad.

Al pesar los tiestos, para calcular el contenido de humedad del suelo, se tiene que hacer la necesaria corrección de descontar el peso de la planta, para no incluir este peso, como agua contenida en el suelo. Dada la serie de experiencias que anteriormente se habían hecho para establecer definitivamente los tres niveles de humedad citados y los trabajos que sobre ésta misma planta se han realizado en nuestro laboratorio (76) (77) se puede apreciar el peso aproximado de la planta. El error que se puede cometer en este cálculo es del mismo orden al que nos da la balanza en la que pesamos los tiestos.

Los distintos niveles de humedad se establecen una vez que las plantas están desarrolladas normalmente en el tiesto, que de una forma aproximada viene a ser unos diez días después del trasplante del semillero, es decir, a unos 25 días de edad.

El corte de las plantas se realizan cuando la humedad del suelo se encuentra en el valor inferior del intervalo correspondiente.

Con objeto de evitar pérdidas de nutrientes y agua por drenaje, se coloca en todos los tiestos unas casoleas de porcelana para así recoger el agua que pudiera drenar y añadirla de nuevo al tiesto.

El análisis vegetal se ha venido empleando desde hace mucho tiempo (Sausure 1804) con distintos fines. Uno de ellos es el de buscar la composición mineral de la planta y con ella encontrar una imagen del medio exterior que presente la integral de todos los factores puestos en juego en la nutrición vegetal. Tal investigación encierra la posibilidad de servir de base al control de la fertilización siempre que se cumplan los siguientes supuestos:

- 1) Que se pueda establecer una correlación entre la alimentación mineral y el crecimiento de la planta.
- 2) Que exista una relación simple y directa entre el crecimiento y la cosecha.
- 3) Que pueda corregirse, con oportunidad, la nutrición de la planta mediante la fertilización.

El Profesor Recalde (120) discute estos tres puntos, llegando a la conclusión que "es el análisis foliar el más indicado para controlar la fertilización del cultivo". Sin embargo el mayor inconveniente que presenta este método—sigue diciendo—reside en el hecho de que sirve para explicar lo que está sucediendo en la nutrición del cultivo examinado, pero no para corregir, hasta el año próximo, las deficiencias que puedan observarse en el abonado".

Esta desventaja parece ser superada, cuando se emplea el análisis del jugo extraído por presión de las plantas, al que llamaremos "savia", como medio de control en la nutrición vegetal. Hernando y col. (63) emplean este método para controlar la fertilización de un cultivo de tomates, obteniendo magníficos resultados ya que el análisis de la savia les puede in-

forzar uno o más nutrientes mediante la fertilización.

Este tipo de control sobre un cultivo, tiene la ventaja de que su análisis se puede hacer en el mismo campo, no necesita personal especializado para realizarse y nos señala a tiempo tendencias que nos van a servir para corregir las deficiencias o excesos de algún nutriente.

Las ventajas del análisis de savia en el control de la nutrición de la planta es citado también por Delmas y Routhenko (34) encontrando que la corrección de algún defecto en la fertilización se puede hacer con mayor anticipación si se emplea el análisis de savia con preferencia al foliar. Estos autores encuentran a su vez una proporción directa entre los contenidos de nutrientes en la savia y en la materia seca.

En este método analítico se viene empleando desde hace mucho tiempo, ya en 1927, lo emplea Gilber (48) para estudiar la nutrición mineral del maíz mientras que Pettinger (113) (1931) lo emplea como medio de control en la fertilización de esta misma planta.

No obstante el desarrollo de este método de control, de la nutrición vegetal, sólo se ha conseguido muy recientemente con los trabajos de Hernando y Jimeno (63) (76) (77) en España y con los de Delmas y Routhenko (33) (34) (124) en Francia. Estos autores emplean un método de extracción muy parecido al empleado por Gilber (48) sin embargo su ventaja reside en que sólo analizan la fracción de nutrientes que se encuentran en su forma iónica (no la porción sintetizada) que es la que está directamente relacionada con la absorción y lo que constituye una originalidad en la concepción del problema, aumentando extraordinariamente las posibilidades de la técnica analítica.

analítica está en que al analizar sólo la fracción de nutrientes en su estado iónico nos da idea de las reservas que tiene la planta para seguir desarrollándose y de la proporción en que son absorbidos en la época de la toma de muestra.

Pensando esta última característica hemos elegido este método de análisis en nuestro trabajo, para así paliar en lo posible, la segunda dificultad que encuentra Crooke y Knight (28) en la demostración experimental del "efecto de valencia" con la dilución según el equilibrio Donnan.

El procedimiento que hemos seguido es el que emplean Hernando y Jimeno y cuyas peculiaridades citan en su primer trabajo (63).

### Técnicas analíticas

Las partes de la planta que consideramos más idóneas para la toma de muestra son los tallos y peciolo, pues son los órganos de la planta en los que el movimiento de nutrientes es mayor.

Al tomarse la muestra para el análisis de su savia, eliminamos los peciolo de las hojas más viejas y el de las más jóvenes, pues en las primeras se está produciendo la fuga de nutrientes hacia el resto de la planta (47) (8) mientras que en las segundas por estar en una zona de alta actividad fotosintética la concentración de nutrientes plastificantes, sobre todo P, es muy alta (8) (76) (138). De aquí que el predominio de alguno de estos dos tipos de hojas podría falsear el resultado; lo mismo haremos con el tallo, pues eliminamos la porción cerca al suelo e igualmente la parte más joven del mismo.

Una vez elegido el material a analizar se le somete a una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  durante 15 á 20 horas para impedir

dos. Luego se extrae la savia al someter el conjunto de tallos y peciolas a una presión de  $1 \text{ Kg/cm}^2$  utilizando para ello una prensa hidráulica, cuyas características expone Cadahía (17) Una vez extraída la muestra se homogeneiza por agitación, diluyéndose seguidamente 6 veces.

Los nutrientes analizados son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ca, K y  $\text{Cl}^-$  empleando para ello las siguientes técnicas:

#### Nitratos:

Se ha seguido el método colorimétrico del ácido fenel-disulfónico, según la técnica descrita por Cadahía y Hernando (16) para el análisis de savia.

#### Fosfatos:

Empleamos para esta determinación el método colorimétrico de Burriel y Hernando (14).

#### Calcio y Potasio:

Se determinaron con un fotómetro de llama "Eppendorf" (15).

#### Cloruros:

Se valoran volumétricamente con  $\text{NO}_3\text{Ag}$  a pH 7, usando como indicador el  $\text{CrO}_4\text{K}_2$ .

#### Las técnicas seguidas para el análisis químico del suelo fueron las siguientes

pH: Se determina con un aparato "Beckman" medidor de pH, utilizando electrodos patrón de calomelanos y el de vidrio para sistemas semisólidos.

Nitrógeno: Según el método Kjeldahl.



lucción de acetato amónico a pH = 7, haciéndose la extracción en la proporción de suelo/solución extractora de 1/10; la determinación se hace igual que con la savia: con un fotómetro de llama (15).

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asimilable: Se realiza por el método de Burriel y Hernando (14).

Materia Orgánica: Se determina por una oxidación con Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>K<sub>2</sub> en medio ácido y valorando por retroceso con sal de Mohr.

En las determinaciones físicas del suelo se han seguido las siguientes técnicas:

La determinación de la humedad equivalente, que equiparamos a la capacidad de campo, se ha determinado por el método de la centrífuga según Demolón (35).

La humedad en el punto de marchitamiento se ha comprobado por la técnica de la espátula del mismo autor anterior.

El análisis granulométrico se ha realizado por la técnica del densímetro, en el que se determinan los porcentajes de arena gruesa y fina por pesada y las de arcilla y limo por las variaciones de densidad que experimenta la solución en la que se ha dispersado la muestra de suelo (98).

### Planteamiento de las experiencias

A los 15 días de haber sembrado el semillero que ponemos con turba y mantenemos a una temperatura óptima, realizamos el trasplante a los tiestos. A esta edad las plantas sólo han desarrollado las primeras tres hojas, dos de las cuales son embrionales.

Las experiencias realizadas con suelo arcilloso son de dos tipos: las realizadas con tiesto grande en los que pong

1 Kg. de capacidad. El fin que perseguimos con ello, es estudiar la influencia de la mayor cantidad de suelo en la nutrición y producción vegetal. Con el suelo arenoso empleamos sólo un tipo de tiesto: el pequeño.

Las experiencias con tiestos grandes constan de 27 macetas, estableciendo así tres niveles de fertilización y los tres citados de humedad, con lo que se consiguen tres repeticiones para cada tratamiento. En este mismo suelo, las experiencias con tiestos pequeños constan de 36 tiestos, estableciendo los mismos niveles de fertilización y humedad que en los grandes, pero en este caso mantenemos cuatro repeticiones para cada tratamiento.

Con el suelo arenoso, muy pobre en nutrientes, se establecen cuatro niveles de fertilización y los tres citados de humedad, consiguiéndose así cuatro repeticiones para cada tratamiento de humedad-fertilización; consta pues, esta experiencia de 48 tiestos.

Las dosis de fertilización en el suelo arcilloso son: nula, normal y doble de la normal, mientras que en el suelo arenoso establecemos las cuatro siguientes: nula, mitad de la normal, normal y doble de la normal. Se considera una fertilización normal la que se aconsejaría después del análisis del suelo para un óptimo rendimiento.

En las experiencias con suelo arenoso la fertilización potásica se hace con  $\text{SO}_4\text{K}_2$ , mientras que en las del arcilloso se realiza con  $\text{ClK}$ , la causa de ésto es el intento de acercarnos lo mas posible a las condiciones de fertilización en la práctica agrícola, según el tipo de suelo.

Por esta misma razón las sales empleadas como fertilizantes son de pureza agrícola, es decir, con una riqueza en elementos nutritivos igual a las que se emplean normalmente en

la agricultura.

Para la fertilización fosfatada se ha empleado un superfosfato cálcico de un 18% de riqueza en  $P_2O_5$  soluble en agua. La fertilización nitrogenada se ha realizado con  $(NO_3)_2Ca$  con un 16% de N, mientras que en la fertilización potásica se han empleado  $ClK$  y  $SO_4K_2$  de riqueza similar en su contenido en  $K_2O$ : 50%.

Con objeto de estudiar la influencia de varios niveles de humedad y fertilización nitrogenada en la producción y nutrición mineral de la planta que nos ocupa, lechuga "romana", se reelaboran las experiencias Humedad-Nitrógeno, en los dos tipos de suelo ya citados.

El análisis de estos suelos está esquematizado en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 2

Suelo	pH		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	Mat.Org. %	N %	mg/100 gr. de suelo			
	H <sub>2</sub> O	ClK				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Arcilloso	7,50	7,05	46,4	1,30	1,23	10,5	31	490	1,5
Arenoso	6,10	5,15	-	0,44	0,24	2,0	12	55	1,4

De estos datos calculamos la fertilización para cada suelo, expresados en mg. de fertilizantes por Kg. de suelo. La fertilización aplicada fué:

#### Suelo arcilloso

Un abonado común a base de 190 mg. de superfosfatos y 50 mg. de ClK. Para el nitrógeno se establecen estos tres niveles:

N<sub>0</sub> = Sin N.

N<sub>1</sub> = 100 mg. de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca = 300 Kg/Ha.

N<sub>2</sub> = 200 mg. de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca = 600 Kg/Ha.

#### Suelo arenoso

Una fertilización común para cada tiesto formada por 250 mg. de superfosfato y 170 mg. de ClK. Para el nitrógeno se establecen estos cuatro niveles:

$N_1 = 100 \text{ mg. de } (NO_3)_2Ca = 300 \text{ Kg/Ha.}$

$N_2 = 200 \text{ mg. de } (NO_3)_2Ca = 600 \text{ Kg/Ha.}$

$N_3 = 400 \text{ mg. de } (NO_3)_2Ca = 1200 \text{ Kg/Ha.}$

### Condiciones ambientales

La experiencia se llevó a cabo durante los meses de Abril, Mayo y Junio del año 1964.

Siendo las temperaturas y humedades medias en el invernadero durante este tiempo las siguientes:

#### Mes de Abril de 1964

Temperatura media máxima:  $29^{\circ}C$

Temperatura media mínima:  $14^{\circ}C$

Humedad media: 50%

#### Mes de Mayo de 1964

Temperatura media máxima:  $32^{\circ}C$

Temperatura media mínima:  $17^{\circ}C$

Humedad media: 44%

#### Mes de Junio de 1964

Temperatura media máxima:  $34^{\circ}C$

Temperatura media mínima:  $17^{\circ}C$

Humedad media: 44%

Estas experiencias se plantean con la finalidad de estudiar la influencia de la fertilización fosfatada y de distintos niveles de humedad en la producción y nutrición mineral de la lechuga "romana".

El análisis de los suelos en las que realizamos las experiencias vienen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 3

Suelo	pH		CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	Mat.Org. %	N %	mg/100 gr. de suelo			
	H <sub>2</sub> O	CLK				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Arcilloso	7,5	6,8	46,2	1,4	1,06	7,5	25	520	1,0
Arenoso	6,0	4,9	-	0,5	0,27	1,5	12	52	0,8

Con estos datos analíticos calculamos la fertilización para cada suelo y esta fué:

Suelo arcilloso:

Una fertilización constante para cada Kg. de suelo de 100 mg. de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca y 50 mg. de SO<sub>4</sub>K<sub>2</sub>.

Para el P se establecen las tres dosis siguientes por Kg. de suelo:

P<sub>0</sub> = Sin P.

P<sub>1</sub> = 200 mg. de superfosfato = 600 Kg/Ha.

P<sub>2</sub> = 400 mg. de superfosfatos = 1200 Kg/Ha.

Suelo arenoso

Un abonado base de 150 mg. de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca y 50 mg. de CLK

Estableciendo las dosis siguientes de superfosfato:

$P_1 = 200 \text{ mg. de superfosfato} = 600 \text{ Kg/Ha.}$

$P_2 = 400 \text{ mg. de superfosfato} = 1200 \text{ Kg/Ha.}$

$P_3 = 600 \text{ mg. de superfosfato} = 1800 \text{ Kg/Ha.}$

### Condiciones ambientales

La experiencia se desarrolló durante los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre de 1964.

Siendo las temperaturas y humedades medias, en el invernadero, durante este tiempo las siguientes:

#### Mes de Septiembre de 1964

Temperatura media máxima:  $33^{\circ}\text{C}$

Temperatura media mínima:  $21^{\circ}\text{C}$

Humedad media:  $40\%$

#### Mes de Octubre de 1964

Temperatura media máxima:  $27^{\circ}\text{C}$

Temperatura media mínima:  $13^{\circ}\text{C}$

Humedad media:  $48\%$

#### Mes de Noviembre de 1964

Temperatura media máxima:  $21^{\circ}\text{C}$

Temperatura media mínima:  $12^{\circ}\text{C}$

Humedad media:  $59\%$

Con el fin de estudiar la influencia de distintas dosis de fertilizantes potásicos en la producción y nutrición de la planta en función de la humedad del suelo, se realizan las experiencias Potasio-Humedad.

Antes de plantear la experiencia se realiza el análisis de muestras de suelo para deducir la fertilización más idónea. Los análisis para los dos suelos estudiados vienen expuestos en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 4

Suelo	pH		CO <sub>3</sub> <sup>==</sup> %	Mat.Org. %	N %	mg/100 gr. de suelo			
	H <sub>2</sub> O	CLK				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Arcilloso	7,55	6,65	47,0	1,26	0,97	7,5	13,5	530	2,7
Arenoso	5,90	4,60	-	0,62	0,32	3,0	7,0	50	-

Se observa que el suelo arcilloso ha experimentado una gran disminución en su contenido en potasio respecto a la experiencia anterior, Fósforo-Humedad. Esta disminución es debida a un cultivo de maíz que se puso al final de la experiencia anterior, con objeto de disminuir la concentración de nutrientes en el suelo.

La fertilización recomendada, por Kg. de suelo fué:

#### Suelo arcilloso

Un abonado común de 200 mg. de superfosfato y 100 de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca. Para el potasio se establecen los tres niveles siguientes

K<sub>0</sub> = Sin K.

K<sub>1</sub> = 135 mg. de CLK = 405 Kg/Ha.

K<sub>2</sub> = 270 mg. de CLK = 810 Kg/Ha.



Un abonado común de 200 mg. de superfosfato y 150 mg. de  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ . Con las cuatro dosis siguientes de fertilizantes potásico

$K_0$  = Sin K.

$K_1$  = 45 mg. de  $\text{SO}_4\text{K}_2$  = 135 Kg/Ha.

$K_2$  = 90 mg. de  $\text{SO}_4\text{K}_2$  = 270 Kg/Ha.

$K_3$  = 180 mg. de  $\text{SO}_4\text{K}_2$  = 540 Kg/Ha.

### Condiciones ambientales

La experiencia se llevó a cabo durante los meses de Marzo, Abril y Mayo del año 1965:

Siendo las temperaturas y humedades medias durante este tiempo, en el interior del invernadero, las siguientes:

#### Mes de marzo de 1965

Temperatura media máxima: 30°C

Temperatura media mínima: 15°C

Humedad media: 52%

#### Mes de abril de 1965

Temperatura media máxima: 32°C

Temperatura media mínima: 13°C

Humedad media: 48%

#### Mes de mayo de 1965

Temperatura media máxima: 36°C

Temperatura media mínima: 16°C

Humedad media: 44%

Una vez realizadas las experiencias de cada uno de los nutrientes fundamentales con la humedad; se creyó conveniente planear una experiencia factorial de los tres nutrientes y la humedad; para conocer así el efecto que pudiera haberse producido al realizar las experiencias en distintas épocas del año.

Dado el número elevado de macetas necesarias para esta experiencia y por realizarla con el mismo suelo arcilloso que veníamos usando, se decidió no emplear los tiestos grandes, poniéndose solo los de 1 Kg. de suelo.

En el caso del suelo arenoso y por no contar con la suficiente cantidad del que hemos empleado en las experiencias anteriores, se decidió realizar esta experiencia con otro tomado de la misma localidad y cuya constitución física es la misma, pero su nivel de fertilidad se había elevado pues corresponde a una zona que se puso en regadío después de que se tomó la muestra.

Los análisis de estos suelos están esquematizados en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 5

Suelos	pH		CO <sub>3</sub> %	Mat.Org. %	N %	mg/100 gr. de suelo			
	H <sub>2</sub> O	ClK				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
Arcilloso	7,70	6,80	47,2	1,52	0,96	8	11	495	1,5
Arenoso	6,75	6,00	-	0,64	0,50	4	9	85	0,7

De aquí calculamos la fertilización para cada Kg. de suelo. Estableciendo los siguientes niveles para él:

$N_0$  = Sin N.       $N_1$  = 150 mg. de  $(NO_3)_2Ca$  = 450 Kg/Ha.

$P_0$  = Sin P.       $P_1$  = 200 mg. de superfosfato = 600 Kg/Ha.

$K_0$  = Sin K.       $K_1$  = 100 mg. de  $SO_4K_2$  = 300 Kg/Ha.

Para el suelo arenoso las dosis fueron

$N_0$  = Sin N.       $N_1$  = 200 mg. de  $(NO_3)_2Ca$  = 600 Kg/Ha.

$P_0$  = Sin P.       $P_1$  = 400 mg. de superfosfato = 1.200 Kg/Ha.

$K_0$  = Sin K.       $K_1$  = 100 mg. de  $SO_4K_2$  = 300 Kg/Ha.

Condiciones ambientales

La experiencia se llevó a cabo durante los meses de Mayo, Junio y Julio de 1966.

Siendo las temperaturas y humedades medias durante este tiempo en el interior del invernadero las siguientes:

Mes de mayo de 1966

Temperatura media máxima: 31°C

Temperatura media mínima: 15°C

Humedad media: 47%

Mes de junio de 1966

Temperatura media máxima: 33°C

Temperatura media mínima: 16°C

Humedad media: 44%

Mes de julio de 1966

Temperatura media máxima: 36°C

Temperatura media mínima: 20°C

Humedad media: 40%

# **ESTUDIO DE LA PRODUCCION**

Al estudiar los resultados de la producción vegetal en función de los niveles de fertilización se recurre siempre a aplicar la ley del mínimo de Liebig que nos dice que el grado de desarrollo vegetal está regulado por el nutriente que se encuentre en mayor deficiencia y que nos permite explicar el efecto de unos y otros nutrientes sobre la producción, según la riqueza en que se encuentren en el suelo.

Realmente en la práctica se ha observado siempre que, salvo casos muy excepcionales de deficiencias muy agudas, no solamente la adición de fertilizantes que contengan el elemento limitante produce aumentos de cosecha, sino que la adición de algún otro, aún no tan deficiente, produce estos mismos efectos, lo que está en abierta contradicción con la ley del mínimo.

Para subsanar este problema y poder seguir aplicando dicha ley, Mitscherlich (55) introdujo la idea de la interacción, que supone que un factor aunque no realmente limitante, pero próximo a serlo podría producir aumentos de cosechas al adicionar al suelo un fertilizante que lo contenga, aunque estos aumentos sean pequeños. Y explica este fenómeno diciendo que un elemento actuaba sobre el otro favoreciendo su aprovechamiento por la planta. En realidad con estas consideraciones quedan aclarados todos los casos, pero muchos de ellos no se pueden explicar desde el punto de vista fisiológico.

Esto hace suponer una idea un tanto artificiosa, puesto que no se explica como un nutriente, por ejemplo un anión o un catión, que este en condiciones de deficiencia, puedan ser reemplazados respectivamente por un catión o por un anión, pues fisiológicamente es totalmente imposible.

llegado a una serie de conceptos prácticos que con un sentido totalmente realístico del problema nos explica los distintos resultados que se encuentran en la producción vegetal, cuando se varían las cantidades de fertilizantes dadas al suelo, sin tener que acudir a los conceptos un tanto artificiosos de las interacciones; quedando perfectamente claro que la ley del mínimo de Liebig se cumple siempre.

Veamos como hemos llegado a estos nuevos conceptos. Cuando se hace un análisis de suelo, si cogemos dos muestras aún en la misma zona, observamos que los valores que se obtienen no son siempre los mismos, lo que nos hace ver la heterogeneidad de los suelos. Pues bien, si suponemos un cubo de suelo teórico en el que la planta se desarrolla y distribuye sus raíces, por alta que sea la densidad radicular de la planta no podría abarcar todo el cubo y dado la heterogeneidad del mismo las raíces llegarán a unos puntos en los que el contenido de nutriente o nutrientes limitantes tienen un valor mientras que en otros tendrán unos valores completamente distintos, pudiendo decir, que existe en el suelo una especie de banda o zona de fluctuación de los niveles de este elemento dentro del cubo teórico de suelo. De aquí que, cuanto mayor sea el dominio de los valores más altos, mayor será la disponibilidad total de ese elemento para la planta.

A partir de aquí, si que se puede encontrar una explicación más clara de lo que se ha llamado hasta ahora interacción y que sólo tiene realidad cuando nos referimos a  $K/Na$ ,  $Ca/K$ ,  $K/Mg$  etc., pero no para el caso del  $N/K$  u otros de la misma índole.

Como consecuencia de la heterogeneidad del suelo puede que haya en el cubo teórico, que hemos considerado, y para el elemento deficiente que estudiamos, zonas en las que el contenido de este nutriente esté por encima del valor crítico y en

que en términos generales y por el análisis de suelo dábase como el más deficiente, puede producir un aumento en la cosecha.

Es decir, el elemento que el análisis de suelo nos dá como deficiente puede que se encuentre en el 80 ó 90% de los puntos del suelo en esas condiciones, es decir, como limitante de la producción, pero en el 20 ó 10% restante puede que el elemento deficiente sea otro distinto y la aplicación al suelo de fertilizantes que contengan este segundo elemento, daría lugar a un aumento de la producción. Aumento, que siempre será pequeño, ya que el porcentaje de puntos o zonas dentro del cubo teórico de suelo en el que se desarrolla la planta, que sean deficientes en este elemento serán por supuesto siempre pequeños.

Todo lo anterior se explica teniendo en cuenta que el desarrollo de la planta es una sumación de lo que consiguen las raíces en el volumen del suelo en el que se desarrollan. Al concepto que acabamos de desarrollar le damos el nombre de "superposición" ya que no presupone acción de un ión sobre otro, lo que sería interacción y que como ya hemos dicho antes, sólo ocurre en un número limitado de casos.

La razón de llamarla así la basamos en que al determinar por análisis un valor de un nutriente en el suelo, éste es realmente una sumación de valores más altos y más bajos al que determinamos. Pues bien, cuando la sumación de valores correspondientes a dos elementos tienen una zona común en cuanto a su utilidad por la planta, a esa zona de coincidencia, la llamamos de "superposición".

Y de ahí sacamos el concepto de "superposición", que vamos a utilizar, y es entonces, en esa zona en la que coinciden, en la que cualquiera de los dos nutrientes aplicados producirían beneficios. Y los produciría porque la zona en que el segundo es el limitante, el primero producirá aumento no por el fertilizante que en esa zona se aplique sino por lo que se aplique en el res-

aplique a esta zona que está por debajo del nivel crítico, en cuyo caso las raíces que se desarrollan allí podrán absorber mejor el elemento que allí es limitante.

Como la planta en sí, no es más que una suma de la asimilación de todas las raíces, es lógico que puedan haber probabilidades de aumento de producción por aplicación de elementos distintos, aunque su misión fisiológica en la planta sea totalmente distinta, y no puedan sustituirse uno por otro. Con lo cual queda explicada perfectamente una cosa, que por el procedimiento de las interacciones no quedaba clara, especialmente cuando se refería a relación entre aniones y cationes.

Decimos que un sistema está muy "superpuesto", respecto a algunos nutrientes, cuando la probabilidad de producir aumento de cosecha con la aplicación de fertilizantes, es grande, es decir, cuando la fertilidad del suelo sea muy baja y son varios los nutrientes que al elevar su contenido en el suelo producirían un aumento de la producción.

Este concepto de "superposición" que hemos desarrollado aquí lo usaremos para explicar los resultados que hemos obtenido; y que exponemos a continuación.



Se exponen a continuación los rendimientos de materia fresca obtenidos en cada una de las experiencias que hemos realizado. Se hace el estudio para cada experiencia en particular, agrupando los rendimientos según los distintos tratamientos de humedad-fertilización y especificando los bloques experimentales que hemos planteado.

Después de esta exposición de valores, se hace el análisis estadístico de los mismos para estudiar así la significación de cada una de las causas de variación. Seguidamente hacemos un breve comentario a estos rendimientos y al análisis de la varianza, tratando de explicar las causas que motivan los resultados obtenidos.

Una vez expuestos los rendimientos, análisis estadístico y el comentario a los resultados para cada una de las experiencias, se hace la discusión general de la producción en función de los factores Fertilización y Humedad.

**CILLOSO EN TIESTOS PEQUEÑOS (1 Kg. de suelo)**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 6****Experiencia Humeda-Nitrógeno****Suelo arcilloso-Tiesto pequeño****Rendimientos expresados en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Nivel de humedad	Dosis de Nitrógeno	I	II	III	IV	
Bajo	N <sub>0</sub>	8,3	7,7	5,6	4,9	6,6
	N <sub>1</sub>	8,2	7,9	6,9	7,3	7,6
	N <sub>2</sub>	10,3	9,9	8,4	6,8	8,8
Normal	N <sub>0</sub>	19,6	19,5	21,1	19,6	20,0
	N <sub>1</sub>	17,9	17,5	20,6	20,3	19,1
	N <sub>2</sub>	19,4	19,2	20,5	17,5	19,2
Alto	N <sub>0</sub>	34,7	34,9	34,6	34,4	34,6
	N <sub>1</sub>	32,4	37,9	32,2	35,1	34,4
	N <sub>2</sub>	36,9	39,2	34,4	36,5	36,8

**Análisis de la varianza**

Efectuando el análisis de la varianza se han obtenido los resultados que exponemos en el siguiente cuadro:

**Análisis de la varianza**  
**Experiencia Humedad-Nitrógeno**  
**Wuesto pequeño-Suelo arcilloso**

Causas de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza	F
Niveles de humedad	2	445.629	222.818	765,70 <sup>**</sup>
Dosis de fertilización	2	1.673	836	2,87 <sup>*</sup>
Humedad Fertilización	4	1.878	939	3,23 <sup>*</sup>
Bloques	3	1.543	514	1,77
Error experimental	24	6.985	291	
Total	35	457.707		

**Nota**

\* \* : Causas de variación muy significativas e inferiores al nivel del 1%.

\* : Causa significativa, valor comprendido entre el 1 el 5%.

Valores de F sin asteriscos: causas no significativas.

**Comentario a estos resultados**

Al aplicar el análisis de la varianza a los rendimientos obtenidos, observamos una significación alta para el efecto de la humedad, mientras que la fertilización y su "superposición" con la humedad sólo son moderadamente significativas. El efecto de la humedad se observa en todos los niveles de fertilidad, produciendo un aumento de los rendimientos a medida que el nivel hídrico del suelo se eleva.

En este suelo rico en nitrógeno, la respuesta de la fertilización nitrogenada es muy pequeña afectando muy poco a la producción. En el nivel Bajo de humedad parece apreciarse una elevación en los rendimientos, pero dadas las diferencias entre los bloques experimentales, estos incrementos son poco significativos. En los niveles Normal y Alto no se observan variaciones apreciables para los tratamientos nitrogenados y sólo en el tratamiento Alto- $N_2$  parece apreciarse un ligero incremento respecto al valor obtenido para  $N_1$ , en este mismo nivel de humedad.

La explicación a estos comportamientos la podemos encontrar en que el nitrógeno no es limitante y sí el agua; por éste se nota un efecto marcado en la producción con las dosis de agua crecientes.

**BO Y TIESTO GRANDE. (6 Kg. de suelo).**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia están expresados en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 8**

**Experiencia Humedad-Nitrógeno**  
**Suelo arcilloso - Tiesto grande**  
**Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES			Media
Nivel de humedad	Dosis de nitrógeno	I	II	III	
Bajo	N <sub>0</sub>	10,3	8,1	10,6	9,6
	N <sub>1</sub>	6,3	9,4	7,0	7,6
	N <sub>2</sub>	7,6	10,1	8,4	8,7
Normal	N <sub>0</sub>	36,9	39,1	28,5	34,8
	N <sub>1</sub>	29,7	36,4	25,0	30,4
	N <sub>2</sub>	26,3	30,7	36,5	31,2
Alto	N <sub>0</sub>	69,1	51,2	67,5	62,6
	N <sub>1</sub>	76,7	94,5	67,6	79,6
	N <sub>2</sub>	34,2	59,4	44,3	46,0

**Análisis de la varianza**

Efectuando el análisis de la varianza se han obtenido los resultados que exponemos en el siguiente cuadro:

**Análisis de la varianza**  
**Experiencia Humedad-Nitrógeno**  
**Tiempo grande - Suelo arcilloso**

Causas de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza	P.
Nivel de humedad	2	1.323.591	661.795	111,42**
Dosis de fertilización	2	52.200	26.100	4,39*
Humedad x fertilización	4	121.554	30.339	5,11**
Bloques	2	13.400	6.745	1,13
Error experimental	16	95.028	5.939	
TOTAL	26	1.605.863		

**Comentario a estos resultados**

Por el análisis estadístico de los rendimientos obtenidos, se puede observar la alta significación de la humedad y su "superposición" con la fertilización; mientras que al efecto de la fertilización nitrogenada sólo podemos catalogarlo de significativo.

El efecto de la humedad es muy señalado, pues los rendimientos se elevan a medida que el nivel hídrico del suelo aumenta; elevación que se observa en todos los niveles de fertilización.

las experiencias con tiestos pequeños es poco significativa. En líneas generales parece observarse, a excepción de los rendimientos obtenidos en el tratamiento N<sub>1</sub>-Alto, que la producción disminuye con la fertilización. Esto puede explicarse por el desequilibrio que se produce al aumentar la concentración de nitratos en el suelo manteniendo al resto de los nutrientes constante. Suposición que se confirma al estudiar la concentración de los nutrientes en la savia, en la cual observamos una elevada concentración de nitratos y una muy baja de fosfatos (véase cuadro N<sup>o</sup> 23 y 27, págs. 109 y 121)

**NOSO Y TUESTO PEQUEÑO. (1 Kg. de suelo).**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 10****Experiencia Humedad-Nitrógeno****Suelo arenoso-Tiende pequeño****Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Nivel de humedad	Dosis de nitrógeno	I	II	III	IV	
Bajo	N <sub>0</sub>	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1
	N <sub>1</sub>	3,1	2,4	3,3	2,8	2,9
	N <sub>2</sub>	4,1	3,7	2,9	5,3	4,0
	N <sub>3</sub>	6,0	8,0	4,8	7,9	6,7
Normal	N <sub>0</sub>	2,0	2,6	3,8	2,3	2,7
	N <sub>1</sub>	4,1	4,4	4,7	5,4	4,6
	N <sub>2</sub>	6,3	6,0	6,3	7,2	6,5
	N <sub>3</sub>	10,5	13,3	14,4	14,5	13,2
Alto	N <sub>0</sub>	2,2	2,6	3,8	2,3	2,7
	N <sub>1</sub>	4,2	4,9	4,8	4,5	4,6
	N <sub>2</sub>	7,6	8,9	8,9	6,0	7,7
	N <sub>3</sub>	13,7	21,0	11,8	13,1	14,9

**Análisis de la varianza**

Efectuado el análisis de la varianza, se han obtenido los siguientes valores de F para las distintas causas de variación

Niveles de humedad:  $F = 24,92^{**}$  para 2 y 33 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 83,55^{**}$  para 3 y 33 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 5,46^{**}$  para 6 y 33 grados de libertad.

Bloques:  $F = 1,17$  para 3 y 33 grados de libertad.



Por el análisis estadístico de los rendimientos, se comprueba la alta significación de la humedad, fertilización y "superposición" entre ambas en la producción vegetal. La respuesta a la fertilización es bien clara observándose un paulatino aumento de la producción a medida que se eleva la dosis de abonos nitrogenados. Esta clara respuesta se explica por la pobreza del suelo en nitrógeno total (véase cuadro nº 2).

Por el contrario el efecto de la humedad no es tan significativo y sólo se observan incrementos apreciables de la producción cuando se pasa del nivel Baje al Normal, pero de este al Alto las diferencias son muy pequeñas. Así se puede apreciar que estas diferencias son nulas para los tratamientos  $N_0$  y  $N_1$  y pequeñas para los  $N_2$  y  $N_3$ . De aquí que podemos considerar al nivel Normal de humedad como el óptimo, pues a partir de él deja de ser la humedad factor limitante.

Esta menor significación de los niveles hídricos queda reflejado en el análisis estadístico, en el que se obtiene un valor de F muy inferior al obtenido para la fertilización.

La explicación a estos resultados podemos encontrarla teniendo en cuenta las consideraciones teóricas que hacíamos al principio de este capítulo.

En primer lugar se aprecia que los dos factores estudiados: Humedad y Nitrógeno son factores limitantes de la producción; siéndolo el nitrógeno de una forma más marcada, de aquí que en el nivel  $N_0$  las variaciones de humedad no eleven el rendimiento.

En el nivel  $N_1$  ya hay algo de "superposición" y por él se produce un aumento del rendimiento al pasar del nivel Baje al Normal, no obstante no hay aumento al pasar al Alto, dejándose de presentar la "superposición". En los niveles  $N_2$  y  $N_3$  se presenta de nuevo la "superposición", pues se observa como la producción aumenta en los tres niveles de humedad.

**SUELO ARCILLOSO Y TIESTO PEQUEÑO. (1 Kg. de suelo).**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se expresan en el cuadro siguiente:

**CUADRO Nº 11**

**Experiencia Humedad-Fósforo**  
**Suelo arcilloso-Tiesto pequeño**  
**Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Nivel de humedad	Dosis de fosfatos	I	II	III	IV	
Bajo	P <sub>0</sub>	7,2	7,2	8,1	7,0	7,4
	P <sub>1</sub>	11,6	13,5	12,4	12,1	12,4
	P <sub>2</sub>	13,7	11,9	13,7	12,4	12,9
Normal	P <sub>0</sub>	20,1	21,8	20,8	24,7	21,9
	P <sub>1</sub>	22,8	23,8	28,3	20,4	23,8
	P <sub>2</sub>	21,0	18,8	22,2	24,5	21,9
Alto	P <sub>0</sub>	28,1	27,4	30,1	28,2	28,4
	P <sub>1</sub>	29,5	30,5	31,4	32,6	31,0
	P <sub>2</sub>	38,2	34,2	35,4	32,8	35,1

**Análisis de la varianza**

Efectuado el análisis de la varianza, se han obtenido los siguientes valores de F en las distintas causas de variación:

Niveles de humedad:  $F = 377,39^{**}$  para 2 y 24 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 15,52^{**}$  para 2 y 24 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 5,20^{**}$  para 4 y 24 grados de libertad.

Bloques:  $F = 1,05$  para 3 y 24 grados de libertad.

Por el análisis de la variación observamos la alta significación de los tratamientos de humedad, fertilización y la "superposición" entre ambos en la producción.

La influencia de la humedad es bien notoria, produciendo una elevación en los rendimientos a medida que su contenido en el suelo aumenta. Elevación ésta, que se presenta en todos los niveles de fertilización, lo que nos indica el carácter limitante de la misma.

El efecto de la fertilización no es tan significativo, aunque si se observa que la producción aumenta al elevarse el contenido de P en el suelo. En el nivel Baje de humedad, se observa un incremento de la producción al pasar de  $P_0$  a  $P_1$ , pero ya en  $P_2$  permanece constante e igual al tratamiento anterior; indicándonos el carácter limitante de  $P_0$  y la aparición de otro factor limitante al encontrarse en  $P_1$ . En el nivel Normal, como en el Baje, se aprecia la elevación de rendimientos, al pasar del tratamiento  $P_0$  al  $P_1$ ; pero ya en el tratamiento  $P_2$  no se produce incremento alguno.

En el nivel Alto, al contrario de los anteriores, se produce una elevación de los rendimientos, a medida que aumenta la fertilización, indicando que los niveles  $P_0$  y  $P_1$  son limitantes.

La explicación a estos comportamientos podemos encontrarla en los estados de "superposición" entre la fertilización fosfórica y los niveles hídricos. Así encontramos que en el nivel Baje se presentan estados de "superposición" para los niveles de fertilización  $P_0$  y  $P_1$ , pero no en las dosis  $P_2$ , pues la producción no varía respecto a  $P_1$ .

Al estudiar la producción del nivel Normal de humedad hay que tener en cuenta que la cantidad de fósforo utilizable pa-

Ello se explica por el equilibrio existente entre el P del suelo y la solución del mismo que hace mantener una concentración constante de fosfatos en la solución del suelo. De aquí que al aumentar el volumen de la solución del suelo, por un aumento del nivel hídrico, aumenta la cantidad total de fósforo disponible por la planta, y así se explica que en este nivel Normal de humedad no se presente el estado de "superposición" que antes habíamos observado en el nivel Bajo.

En el nivel Alto el aumento del fosfato disponible por la planta debido a este elevado nivel hídrico no es suficiente para impedir la "superposición", pudiéndose observar que se presenta en los tres niveles de fertilización.

A falta de niveles superiores de fertilización y de humedad no podemos afirmar que uno u otro factor hayan dejado de ser factores limitantes de la producción. Dicho de otra manera aquí el fosfato es parcialmente deficiente al menos en los niveles  $P_0$  y  $P_1$ .

SUELO ARCILLOSO Y TIESTO GRANDE. (6Kg. de suelo).

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se expresan en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 12

Experiencia Humedad-Fósforo

Suelo arcilloso - Tiesto grande

Rendimientos en gramos

Tratamientos		BLOQUES			Media
Nivel de humedad	Nivel de fertilización	I	II	III	
Bajo	P <sub>0</sub>	17,0	20,9	21,4	19,8
	P <sub>1</sub>	19,4	18,8	14,0	17,4
	P <sub>2</sub>	13,0	19,0	17,0	16,3
Normal	P <sub>0</sub>	47,4	73,3	53,0	57,9
	P <sub>1</sub>	68,7	69,2	60,0	66,0
	P <sub>2</sub>	78,0	78,0	67,0	74,3
Alto	P <sub>0</sub>	89,4	100,0	64,0	84,4
	P <sub>1</sub>	118,0	87,0	122,0	109,0
	P <sub>2</sub>	100,0	89,0	120,0	103,0

Análisis de la varianza

Efectuado el análisis de la varianza para las distintas causas de variación, se han obtenido los siguientes valores de F.:

Niveles de humedad:  $F = 97,59^{**}$  Para 2 y 16 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 2,08^*$  Para 2 y 16 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 1,26$  Para 4 y 16 grados de libertad.

Bloques:  $F = 0,00$  Para 2 y 16 grados de libertad.

El análisis de la varianza de estos resultados, nos da una alta significación para la humedad del suelo; mientras que para las distintas dosis de fertilizantes el efecto no es tan señalado, dándonos un valor de F que solo podemos catalogar de moderadamente significativo. El efecto de la humedad se aprecia por el aumento que experimenta la producción a medida que el nivel hídrico se eleva y que se observa en todos los niveles de fertilización.

En el nivel Bajo de humedad se puede apreciar que la producción experimenta una disminución a medida que la fertilización aumenta y que se puede explicar por un efecto de desequilibrio, Russell (125) llega a esta misma conclusión en cultivo de patatas durante años muy secos.

En este nivel Bajo de humedad no se presenta la "superposición" de nutrientes, ya que el agua es el único factor limitante. Cuando se eleva el nivel hídrico y se pasa al nivel Normal, la producción experimenta un gran aumento tanto con la elevación de la humedad como con las dosis de fertilización, apareciendo un estado de "superposición" entre este nivel de humedad y los de fertilización fosfatada. Esto indica que el aumento de la solución del suelo no es suficiente para impedir que el P sea parcialmente factor limitante.

Si pasamos al nivel Alto de humedad se vuelve a poner de manifiesto la "superposición" entre la humedad y la fertilización, pues la producción experimenta aumentos respecto al nivel anterior de humedad y a los de menor fertilización fosfatada, a pesar de la pequeña diferencia entre el valor obtenido para el tratamiento Alto-P<sub>1</sub> y el del Alto-P<sub>2</sub>, posiblemente para la aparición de un nuevo factor limitante.

el tratamiento Normal- $P_0$  mucho mayor que la del Bajo- $P_2$ , nos confirma que el estado de "superposición" entre la humedad y los niveles de fertilización fosfatada está impedido cuando el nivel hídrico es el Bajo. Explicándose así que los rendimientos de los tratamientos Bajo- $P_1$  y Bajo- $P_2$  sean menores que el del Bajo- $P_0$ , pues dichas fertilizaciones aumentan el contenido de P en el suelo, impidiendo así su "superposición" con el agua.

Por el contrario las producciones de los tratamientos Normal- $P_2$  y Alto- $P_0$  son muy parecidas, debido a que los niveles de humedad y de fertilización se superponen.

En el tratamiento Alto- $P_2$  surge un desequilibrio, pues la producción disminuye respecto al Alto- $P_1$ , posiblemente es producido por un exceso de P disponible por la planta o por la aparición de un nuevo factor limitante, como ya anteriormente indicábamos.

**ARENOSO Y TIESTO PEQUEÑO. (1 Kg. de suelo).**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen a continuación:

**CUADRO N° 13****Experiencia Humedad-Fósforo****Suelo arenoso - Tiesto pequeño****Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Niveles de humedad	Dosis de fosfatos	I	II	III	IV	
Bajo	P <sub>0</sub>	4,1	4,3	2,7	3,5	3,6
	P <sub>1</sub>	10,1	9,4	8,0	7,5	8,7
	P <sub>2</sub>	8,0	8,3	9,6	8,6	8,6
	P <sub>3</sub>	8,2	8,2	9,6	8,6	8,7
Normal	P <sub>0</sub>	6,4	9,6	7,7	7,6	7,8
	P <sub>1</sub>	11,8	12,4	11,7	9,3	11,3
	P <sub>2</sub>	11,7	12,0	14,2	10,6	12,1
	P <sub>3</sub>	13,5	12,1	12,6	12,3	12,6
Alto	P <sub>0</sub>	7,1	5,8	10,0	8,0	7,7
	P <sub>1</sub>	21,7	12,8	18,6	18,2	17,8
	P <sub>2</sub>	15,0	23,8	30,0	21,7	22,5
	P <sub>3</sub>	20,6	21,2	23,5	25,4	22,7

**Análisis de la varianza**

Efectuado el análisis de la varianza, se han obtenido los siguientes valores de F en las distintas causas de variación:

Niveles de humedad:  $F = 119,40^{**}$  para 2 y 33 grados de libertad.  
 Niveles de fertilización:  $F = 45,46^{**}$  para 3 y 33 grados de libertad.  
 Humedad x Fertilización:  $F = 9,87^{**}$  para 6 y 33 grados de libertad.  
 Bloques  $F = 1,46$  para 3 y 33 grados de libertad.



Por el análisis estadísticos de estos rendimientos, se puede observar la alta significación de la humedad, fertilización y relación entre ambas en la producción. El efecto de la humedad, se aprecia por el aumento que experimentan los rendimientos al incrementarse el nivel hídrico del suelo, y que se observa en todos los niveles de fertilización.

El carácter limitante de la humedad se observa desde el primer nivel hídrico, pues se aprecia que la producción sólo responde a la primera dosis de fertilización para luego permanecer constante e igual a la producción obtenida en el tratamiento  $P_1$ , vemos más, como a partir de este nivel de fertilización es la humedad el único factor limitante, impidiéndose así la "superposición".

Al pasar al Nivel Normal se produce una "superposición" para los tres primeros niveles de fertilización, pues los rendimientos aumentan tanto respecto al nivel hídrico como a la mayor dosis de superfosfato. No obstante para el nivel  $P_2$  no se produce gran aumento respecto a  $P_1$ , pues la "superposición" es pequeña, pero aún así se mantiene hasta el nivel  $P_3$  de fertilización, pues se aprecia un ligero incremento de la producción, respecto a los niveles inferiores de fertilización.

Ya en el nivel Alto se produce un aumento de la producción tanto con la fertilización como con la humedad, si se comparan los resultados en este nivel con los que se obtienen en el Normal; no obstante no se aprecian aumentos apreciables de producción entre los tratamientos Normal- $P_0$  y Alto- $P_0$ , pues la elevación de la humedad es muy grande comparada con el bajo nivel de fósforo en el suelo, lo que impide la "superposición" entre estos dos factores de la producción. En los tratamientos Alto- $P_1$  y Alto- $P_2$  se presenta de nuevo la "superposición" sin embargo al pasar al Alto- $P_3$  no se produce aumento de producción, posiblemente por la aparición de un nuevo factor limitante.

**SUELO ARCILLOSO Y TIESTO PEQUEÑO. (1 Kg. de suelo).**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 14**

**Experiencia Potasio-Humedad**

**Suele arcilloso - Tiesto pequeño**

**Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Nivel de humedad	Dosis de potasa	I	II	III	IV	
Bajo	K <sub>0</sub>	13,1	11,3	16,7	9,7	12,7
	K <sub>1</sub>	11,0	12,3	15,0	12,8	12,8
	K <sub>2</sub>	10,1	11,6	11,2	12,4	11,3
Normal	K <sub>0</sub>	16,8	17,1	21,3	18,0	18,3
	K <sub>1</sub>	16,2	17,7	18,0	17,3	17,3
	K <sub>2</sub>	15,9	16,8	15,9	17,5	16,5
Alto	K <sub>0</sub>	19,8	17,3	20,5	24,9	20,6
	K <sub>1</sub>	19,6	19,5	17,1	21,2	19,3
	K <sub>2</sub>	19,9	23,6	13,9	20,9	19,6

**Análisis de la varianza**

Efectuado el análisis de la varianza, obtenemos los siguientes valores de F para las distintas causas de variación:

Niveles de humedad:  $F = 31,93^{**}$  Para 3 y 24 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 1,06$  para 2 y 24 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 0,16$  para 4 y 24 grados de libertad.

Bloques:  $F = 0,52$  para 3 y 24 grados de libertad.

El análisis estadístico de estos rendimientos nos muestran que sólo la humedad afecta de una forma significativa a la producción, mientras que los bloques experimentales y fertilización no les afectan. No presentándose tampoco efecto de "superposición" entre la humedad y la fertilización.

El efecto de la fertilización no es significativo, sin embargo se puede apreciar que para un nivel dado de humedad la producción experimenta una ligera disminución al aumentar la fertilización. Esta disminución se debe a un desequilibrio nutritivo que es producido por el aumento de la concentración de iones potasio en el suelo manteniendo al resto constante, dificultando así el normal desarrollo de la planta. Es decir, el potasio se encuentra en el suelo en un nivel superior a la deficiencia en todos sus puntos, por tanto, la aplicación del mismo no produce aumentos en los rendimientos, y sí, disminución por el desequilibrio que provoca.

Al pasar del nivel Bajo al Normal se apreciaba un notable incremento de la producción lo que nos indica el carácter limitante de la humedad en su nivel Bajo. Por el contrario en el Alto no se producen grandes aumentos de producción respecto al nivel Normal y que nos señala la existencia de un nuevo factor limitante, que ya existía en el nivel Bajo de humedad, pues de lo contrario el aumento de producción al pasar al Nivel Normal hubiera sido mucho mayor.

La razón  $N/P_2O_5$  en la savia de las plantas de esta experiencia, como en el resto de la Humedad-Potasio, nos presenta valores inferiores a la unidad, indicativo de que la planta ha llegado a su máximo desarrollo (76).

## LO ARCILLOSO Y TIESTO GRANDE. (6 Kg. de suelo)

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 15

Experiencia Potasio-Humedad

Suelo arcilloso - Tiesto grande

Rendimientos en granos

Tratamientos		HLOQUES			Media
Nivel de humedad	Dosis de potasa	I	II	III	
Bajo	K <sub>0</sub>	22,8	27,8	27,8	26,1
	K <sub>1</sub>	30,9	29,8	30,2	30,3
	K <sub>2</sub>	28,0	28,9	33,0	30,0
Normal	K <sub>0</sub>	47,0	47,2	49,0	47,7
	K <sub>1</sub>	55,8	48,5	50,7	51,7
	K <sub>2</sub>	54,6	58,4	59,4	57,5
Alto	K <sub>0</sub>	35,0	44,6	49,3	43,0
	K <sub>1</sub>	62,1	59,0	52,3	57,8
	K <sub>2</sub>	59,0	64,0	59,4	60,8

### Análisis de la varianza

Realizado el análisis de la varianza, se han obtenido los siguientes valores de F, para las distintas causas de variación:

Niveles de humedad:  $F = 122,96^{**}$  para 2 y 16 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 18,30^{**}$  para 2 y 16 grados de libertad.

Fertilización x Humedad:  $F = 3,38^*$  para 4 y 16 grados de libertad.

Hloques:  $F = 0,55$  para 2 y 16 grados de libertad.

### Comentario a estos resultados

Al aplicar el análisis de la varianza a estos rendimientos, encontramos una elevada significación de la humedad y fertilización en la producción; influyendo de una forma moderadamente sig-

En esta experiencia, al contrario de lo observado en la de tiestos pequeños, la producción responde a las distintas dosis de fertilización potásica. Aquí pues, no parece presentarse el desequilibrio nutritivo que se presentaba anteriormente, siendo el mismo tipo de suelo. La causa de ello pudiera buscarse en la mayor cantidad de suelo de que disponen estas plantas para su crecimiento que les permite un mayor suministro de elementos nutritivos.

Podemos pues, afirmar que tanto la humedad como el contenido de potasio en el suelo son limitantes, aún más cuando el efecto de la humedad como es de suponer tiene un efecto más señalado en la producción.

En el nivel Bajo se aprecia el efecto de "superposición" pues se observa como la producción aumenta al pasar del tratamiento  $K_0$  al  $K_1$ , pero al pasar al  $K_2$  no se parecía aumento pues la "superposición" desaparece, por el incremento que experimenta el potasio sin elevarse el nivel de humedad.

En los niveles Normal y Alto vuleben a presentarse los efectos de la "superposición", pues se observa como la producción aumenta al pasar del nivel  $K_0$  de fertilización al  $K_1$  y de este al  $K_2$ , y a su vez como aumenta también cuando pasamos del nivel Bajo al Normal y de éste al Alto.

No obstante parece apreciarse que el aumento de producción al pasar del nivel Normal al Alto no es muy grande lo que nos hace suponer que existe algún otro factor de deficiencia, y que se confirma porque el rendimiento del tratamiento Alto- $K_2$  es muy poco superior al Normal- $K_2$ , lo que indica que para este nivel hídrico el potasio es mucho más limitante que la humedad e incluso que está ha dejado de ser limitante fundamental y que aparecen otros y otros factores superiores en deficiencia al potasio, y por tanto "superpuestos" con él, pues las dosis de este último elevan muy poco el rendimiento.

**SUELO ARENOSO Y TUESTO PEQUEÑO. (1 Kg. de suelo).**

Los rendimientos de esta experiencia, se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 16**

**Experiencia Humedad-Potasio**  
**Suelo arenoso-Tiesto pequeño**  
**Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES				Media
Nivel de humedad	Dosis de potasio	I	II	III	IV	
Bajo	K <sub>0</sub>	11,6	12,3	14,7	12,8	12,8
	K <sub>1</sub>	12,3	12,7	15,2	13,6	13,5
	K <sub>2</sub>	12,7	12,2	13,1	14,6	13,1
	K <sub>3</sub>	11,7	12,0	13,2	11,3	12,1
Normal	K <sub>0</sub>	15,3	13,1	18,0	16,5	15,7
	K <sub>1</sub>	12,3	12,7	15,2	17,3	14,4
	K <sub>2</sub>	15,9	16,8	15,3	16,0	16,0
	K <sub>3</sub>	16,7	16,2	15,8	13,8	15,6
Alto	K <sub>0</sub>	17,6	23,0	22,3	21,3	21,1
	K <sub>1</sub>	15,5	16,2	12,5	13,6	14,5
	K <sub>2</sub>	15,1	13,5	14,3	16,1	14,7
	K <sub>3</sub>	14,2	16,0	16,0	15,8	17,3

**Análisis de la varianza**

Efectuado el análisis de la varianza, obtenemos los siguientes valores de F para las distintas causas de variación:

Niveles de humedad:  $F = 18,54^{**}$  para 2 y 23 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 3,73$  para 3 y 33 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 3,91^{**}$  para 6 y 33 grados de libertad.

Bloques:  $F = 1,05$  para 3 y 33 grados de libertad.

Al explicar el análisis de la varianza a estos resultados observamos que la humedad y su relación con la fertilización son altamente significativos en la producción, no influyendo los niveles de fertilización ni los bloques experimentales.

Los resultados nos muestran claramente que el potasio no es factor limitante y sí el agua, aunque "superpuesta" con otro factor que es más deficiente que ella. Posiblemente sea el fosfato, ese otro factor, o al menos es uno de los que intervienen en la "superposición".

Por ello, como al aumentar el nivel de humedad incrementamos también la cantidad de fosfato utilizable por las plantas, el paso del nivel Bajo al Normal y de éste al Alto va acompañado de aumentos mayores en los rendimientos que si fuera sólo variación en la humedad, pues el factor o factores "superpuestos" quedarían limitando cada vez más fuertemente la producción.

El valor medio obtenido para el tratamiento Alto- $K_3$  no parece ser representativo de este tratamiento, pues el rendimiento anormalmente elevado obtenido en el bloque II (23,2 gr.) hace incrementar el valor medio de estas cuatro repeticiones. Teniendo en cuenta esta advertencia podemos considerar que la producción para los niveles  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  es la misma en los tres niveles de humedad, y que se explica pues como ya hemos adelantado hay un factor, o factores, limitante distinto de la fertilización potásica y de la humedad, no afectando estos factores a la producción vegetal.

La causa de estos resultados podemos a su vez encontrarla en la mayor producción global que se obtiene en esta experiencia respecto a la obtenida en los restantes con este mismo suelo, (véase cuadros nº 10 y 13) lo que implica que la planta ha agotado todas las reservas nutritivas del suelo dadas en

sentan en la producción son debidas a la mayor o menor disponibilidad de los nutrientes que posee el suelo.

De esta forma se explica el pequeño aumento de la producción al pasar del nivel Bajo al Normal de humedad por la deficiencia de nutrientes en el suelo que hace que las necesidades de agua por la planta sean mucho menores.

Finalmente en el tratamiento Alto- $K_0$  se produce un gran aumento de la producción respecto al Normal- $K_0$  lo que se explica porque esta Alta humedad pone a disposición de la planta una mayor cantidad de fósforo, nutriente éste que se presenta en muy pequeña proporción en el suelo, y que se libera o solubiliza del complejo arcillo-húmico por la elevada humedad que rodea a las partículas del suelo. En los niveles superiores de fertilización, de este nivel Alto de humedad, se producen disminuciones en los rendimientos respecto a la dosis  $K_0$  y cuya causa puede ser debida a un desequilibrio por el aumento de la dosis potásica, que puede haber provocado una mayor dificultad en la absorción del calcio y por ésto el rendimiento no aumenta frente al nivel Normal de humedad, a pesar de ser mayor la disponibilidad de fosfatos en el suelo.



CILLOSO

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 17  
Experiencia Factorial  
Suelo arcilloso - Tieste pequeño  
Rendimientos en gramos

Tratamientos		BLOQUES			Media
Dosis de fertilización	Nivel de humedad	I	II	III	
$N_0P_0K_0$	Bajo	5,1	4,2	4,8	4,7
	Normal	6,0	6,0	6,4	6,1
	Alto	9,8	11,1	10,7	10,5
$N_0P_0K_1$	Bajo	4,2	5,0	5,0	4,7
	Normal	5,7	5,7	6,0	5,8
	Alto	8,1	7,3	7,3	7,6
$N_0P_1K_0$	Bajo	5,5	5,5	4,2	5,1
	Normal	6,0	5,5	5,5	5,6
	Alto	7,6	7,6	9,3	8,2
$N_0P_1K_1$	Bajo	5,4	4,1	4,5	4,6
	Normal	6,0	7,0	5,2	6,1
	Alto	16,5	17,9	10,9	15,1
$N_1P_0K_0$	Bajo	13,0	13,0	13,1	13,0
	Normal	15,5	14,2	15,9	15,2
	Alto	18,3	24,4	29,8	24,2
$N_1P_0K_1$	Bajo	11,0	11,4	11,7	11,4
	Normal	14,0	15,8	11,7	13,8
	Alto	19,8	26,6	30,4	25,6
$N_1P_1K_0$	Bajo	11,5	13,8	10,0	11,8
	Normal	13,8	14,8	14,2	14,3
	Alto	19,9	23,1	19,3	20,8
$N_1P_1K_1$	Bajo	12,6	10,3	12,7	11,9
	Normal	13,9	15,9	15,9	15,2
	Alto	22,9	20,3	26,7	23,3

obtenidos en esta experiencia y en el que se puede observar de una forma más gráfica, el efecto de los distintos niveles de fertilización y humedad en la producción.

# CUADRO Nº 18

## Experiencia Factorial

Suele arcilloso - Tiesto pequeño

Rendimiento medios en gr.- planta

Nivel de humedad	Niveles de Fertilización							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
Bajo	4,7	4,7	5,1	4,6	13,0	11,4	11,8	12,1
Normal	6,1	5,8	5,6	6,1	15,2	13,0	14,3	15,2
Alto	10,5	7,6	8,2	15,1	24,2	21,6	20,8	23,3

## Análisis estadístico

Efectuado el análisis de la varianza para las distintas causas de variación obtenemos los siguientes valores de F:

Niveles de humedad:  $F = 108,30^{**}$  para 2 y 46 grados de libertad.

Niveles de fertilización:  $F = 52,26^{**}$  para 7 y 46 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 3,42^{**}$  para 14 y 46 grados de libertad.

Bloques:  $F = 1,10$  para 2 y 46 grados de libertad.

Con objeto de estudiar la significación estadística, de cada uno de los tres fertilizantes empleados, realizamos el análisis de la varianza para cada uno de estos nutrientes y sus relaciones respectivas. Los resultados de éste cálculo se expresan en el cuadro siguiente:

## Experiencia factorial-Suelo arcilloso

Causas de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F
N	1	16.781	381,85 **
P	1	7	0,01
K	1	401	0,91
N x P	1	2.965	6,71 **
N x K	1	1.576	3,56 *
P x K	1	35	0,09
N x P x K	1	322	0,73

Comentario a estos resultados

Por los análisis estadísticos realizados, comprobamos la elevada significación en la producción de la humedad, fertilización y "superposición" entre ambas. Pudiéndose señalar que sólo los fertilizantes nitrogenados, de los tres fertilizantes empleados, tienen un marcado efecto en la producción.

Discutimos a continuación la producción obtenida en estas experiencias, guiándonos para ellos de los rendimientos medios obtenidos y que exponemos en el cuadro nº 18.

Se aprecia en esta experiencia y el cálculo de F en el análisis estadístico nos lo confirma, que sólo el nitrógeno y la humedad del suelo son los factores limitantes en la producción, no influyendo en los rendimientos las dosis de fertilizantes potásicos y fosfatados. Se observa a su vez que los niveles de nitrógeno y humedad están perfectamente superpuestos, pues la producción aumenta, tanto si elevamos la frecuencia de los riegos, como si in-

En el tratamiento  $N_0P_0K_0$  se aprecia un continuo aumento de los rendimientos a medida que la humedad aumenta; posiblemente algo de este aumento es debido a la mayor disponibilidad de los fosfatos pues es muy conocido, y a lo largo de las experiencias lo hemos podido comprobar, que la asimilabilidad del P aumenta con la humedad del suelo.

Al pasar al siguiente tratamiento  $N_0P_0K_1$  se sigue observando el aumento que experimenta la producción al elevarse el nivel hídrico, sin embargo la producción es menor que en el tratamiento anterior  $N_0P_0K_0$ , creemos encontrar la explicación a esta disminución en el desequilibrio nutritivo producido al aumentar este nutriente en el suelo manteniendo al resto de los nutrientes constantes.

En el tratamiento  $N_0P_1K_0$ , y respecto al anterior  $N_0P_0K_0$  se produce un pequeño incremento en el nivel Bajo de humedad, y que es debida a la mayor disponibilidad de fósforo por las plantas; sin embargo en los niveles Normal y Alto no se produce este aumento, pues en este caso resulta un desequilibrio debido a que en estos niveles las plantas disponen de mucho más fósforo y que es debido al aumento de la solución del suelo con estos niveles hídricos, cuestión ésta que ya hemos señalado repetidas veces.

Para el tratamiento  $N_0P_1K_1$  se consigue restablecer el equilibrio entre los nutrientes P y K de esta forma se logra obtener la misma producción que en el tratamiento original  $N_0P_0K_0$ . No obstante en el nivel Alto de este tratamiento se obtiene una producción media (15,1) que supera largamente al obtenido en el mismo nivel hídrico del tratamiento  $N_0P_0K_0$ . Este aumento puede explicarse por el estado de equilibrio que se alcanza entre el P, K y humedad; y posiblemente se haya conseguido en este tratamiento que el nitrógeno sea el único factor limitante, desapareciendo "la su-

ve al nitrógeno el factor deficiente.

En el tratamiento  $N_1P_0K_0$  se observa un progresivo aumento de la producción a medida que se eleva el nivel hídrico del suelo, si comparamos estos resultados con los del tratamiento  $N_0P_0K_0$  se aprecia a su vez el incremento producido por la fertilización nitrogenada, de aquí la perfecta superposición que existe entre estos dos factores de la producción. El incremento experimentado por la producción es tan alto que bien podemos considerar al nitrógeno como el factor más limitante.

Al pasar el tratamiento  $N_1P_0K_1$  se aprecia el aumento de producción respecto al mismo tratamiento, pero sin nitrógeno,  $N_0P_0K_1$ . No obstante si comparamos esta producción con la obtenida en el tratamiento anterior  $N_1P_0K_0$ , se observa que se ha experimentado una disminución de la producción y que se explica por el desequilibrio que se produce al aumentar el contenido de este catión en el suelo; este desequilibrio se presenta igualmente en el tratamiento  $N_0P_0K_1$ .

En el siguiente tratamiento  $N_1P_1K_0$  observamos un desequilibrio análogo, pues la producción obtenida es inferior a la observada en el  $N_1P_0K_0$ . Se observa pues, que en este suelo los nutrientes P y K están en equilibrio y al añadir al suelo uno sólo de ellos se produce un desequilibrio nutritivo que hace disminuir la producción, lo mismo observamos en el tratamiento  $N_0P_1K_0$ .

En el tratamiento  $N_1P_1K_1$  al igual que en el  $N_0P_1K_1$  se consigue restablecer el equilibrio y entonces la producción alcanza nuevamente los valores obtenidos en el tratamiento  $N_1P_0K_0$ .

Vemos pues, como se pueden explicar todos los resultados obtenidos en esta experiencia, teniendo en cuenta el principio de "superposición" del que hablábamos al principio de este capítulo, y que en esta experiencia se manifiesta en todos los tratamientos, entre los factores limitantes de la producción: humedad del suelo y fertilización nitrogenada.

**ARENOSO.**

Los rendimientos obtenidos en esta experiencia, se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 20****Experiencia factorial****Suelo arenoso - Fieste Pequeño****Rendimientos en gramos**

Tratamientos		BLOQUES			Media
Dosis de Fertilización	Nivel de Humedad	I	II	III	
$N_1P_1K_0$	Bajo	4,1	4,6	6,9	5,2
	Normal	8,8	10,0	8,6	9,1
	Alto	10,3	8,8	8,6	9,2
$N_1P_1K_1$	Bajo	6,7	6,9	6,9	6,8
	Normal	10,2	7,4	8,1	8,6
	Alto	10,1	10,8	14,4	11,8
$N_1P_2K_0$	Bajo	6,3	6,0	6,9	6,4
	Normal	10,6	10,6	10,0	10,4
	Alto	10,2	13,6	10,6	11,5
$N_1P_2K_1$	Bajo	6,1	4,6	6,2	5,6
	Normal	10,6	8,5	8,6	9,2
	Alto	10,6	10,2	14,1	11,6
$N_2P_1K_0$	Bajo	10,0	9,5	10,1	9,8
	Normal	17,6	18,6	16,3	17,5
	Alto	16,8	14,6	17,4	16,3
$N_2P_1K_1$	Bajo	10,2	10,1	9,9	10,1
	Normal	17,7	19,3	14,3	17,1
	Alto	21,8	18,3	16,8	19,0
$N_2P_2K_0$	Bajo	13,1	12,2	12,3	12,5
	Normal	15,2	13,6	16,5	15,1
	Alto	22,5	22,2	26,7	23,8
$N_2P_2K_1$	Bajo	9,5	12,3	9,9	10,6
	Normal	14,8	15,6	21,0	17,1
	Alto	31,7	26,1	25,4	27,7

tenidos en esta experiencia, en el que se puede observar de una forma más gráfica el efecto de los distintos niveles de fertilización y humedad en la producción.

# CUADRO Nº 21

## Experiencia Factorial

Suelo arenoso - Tieste pequeño

Valores medios en gr.-planta

Nivel de humedad	Niveles de Fertilización							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
Bajo	5,2	6,8	6,4	5,6	9,8	10,1	12,5	10,6
Normal	9,1	8,6	10,4	9,2	17,5	17,1	15,1	17,1
Alto	9,2	11,8	11,5	11,6	16,3	19,0	23,8	27,7

## Análisis de la varianza

Efectuado el análisis de la varianza para estos rendimientos, encontramos los siguientes valores de F para las distintas causas de variación.

Nivel de humedad:  $F = 124,85^{**}$  para 2 y 46 grados de libertad.

Nivel de Fertilización:  $F = 26,30^{**}$  para 7 y 46 grados de libertad.

Humedad x Fertilización:  $F = 6,62^{*}$  para 14 y 46 grados de libertad.

Bloques:  $F = 0,61$  para 2 y 46 grados de libertad.

Con objeto de estudiar la significación estadística de la influencia de cada fertilizante en la producción, se hace el estudio de la varianza para cada uno de los nutrientes fundamentales N, P, K, y sus superposiciones respectivas. Los resultados de

**CUADRO N° 22****Análisis de la varianza****Experiencia Factorial-Suele arcilloso**

<b>Causas de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>F</b>
<b>N</b>	<b>1</b>	<b>103815</b>	<b>337,00 * *</b>
<b>P</b>	<b>1</b>	<b>5313</b>	<b>17,25 * *</b>
<b>K</b>	<b>1</b>	<b>1112</b>	<b>3,61 *</b>
<b>N x P</b>	<b>1</b>	<b>2048</b>	<b>6,65 *</b>
<b>N x K</b>	<b>1</b>	<b>29</b>	<b>0,09</b>
<b>P x K</b>	<b>1</b>	<b>212</b>	<b>0,69</b>
<b>N x P x K</b>	<b>1</b>	<b>920</b>	<b>2,99 *</b>

**Comentario a estos resultados**

Por el análisis estadístico realizado, comprobamos la alta significación de la humedad y de la fertilización en la producción; catalogando a la superposición entre ambas de moderadamente significativa. El cálculo para averiguar la significación de cada uno de los fertilizantes minerales, empleados en esta experiencia, nos muestra el elevado efecto del nitrógeno y fósforo en la producción. Para el potasio, N x P y N x P x K se observa solamente una moderada significación.

En el cuadro n° 21 se exponen los valores medios obtenidos en esta experiencia, para cada uno de los tratamientos de fertilización y niveles de humedad. Mediante el examen de este cuadro de valores y teniendo en cuenta la significación estadística para cada fertilizante comentamos a continuación los rendimientos obtenidos.



nivel Bajo al Normal, no obstante en el nivel Alto se obtiene la misma producción que en el nivel hídrico anterior lo que nos parece indicar que la humedad ha dejado de ser factor limitante por la aparición de otro factor más deficiente.

Al pasar al tratamiento  $N_0P_0K_1$  se produce un incremento de la producción respecto al tratamiento anterior  $N_0P_0K_0$ , lo que nos indica el carácter deficiente del K en este suelo. A su vez el aumento que experimenta la producción al elevarse el nivel hídrico del suelo hace que nos encontremos en un estado de "superposición" entre estos dos factores de la producción.

En el nivel Normal de humedad del tratamiento  $N_0P_0K_1$  se obtiene una producción que es inferior a la obtenida en el mismo nivel hídrico del tratamiento  $N_0P_0K_0$ , creemos que esta disminución se debe a que la humedad diluye al resto de nutrientes produciéndose entonces un desequilibrio con el K. No obstante al elevar el nivel Alto de humedad, la absorción del potasio se ve impedida dejándose de presentar el desequilibrio.

Cuando se fertilizan con superfosfato, nivel  $N_0P_1K_0$  de fertilización, se produce un aumento de producción respecto al tratamiento sin fertilización fosfatada  $N_0P_0K_0$ ; a su vez se observa también que la producción experimenta un aumento al hacerle el nivel de humedad del suelo, de aquí que se presente en este tratamiento un estado de "superposición" entre el P y los niveles de humedad.

Al pasar al tratamiento  $N_0P_1K_1$  se consigue en el suelo un equilibrio entre los nutrientes P y K, ya que son deficientes en el suelo como hemos visto en los anteriores tratamientos, sin embargo no se aprecian grandes aumentos de la producción respecto a los tratamientos anteriores. La causa de ello parece ser debida a que al mejorar la fertilidad del suelo las necesidades de agua son mayores de aquí que los rendimientos en los niveles

restantes tratamientos de fertilización, consiguiéndose en el Alto restablecer el equilibrio entre estos factores de la producción y por lo tanto una elevación en los rendimientos.

Al pasar a los tratamientos con fertilización nitrogenada se aprecia el carácter fuertemente limitante de la misma, pues la producción obtenida en ellos superan con mucho a las de los tratamientos sin nitrógeno. Observaciones que se van confirmando por la alta significación estadística que encontramos para el nitrógeno al efectuar el análisis de la varianza.

En el tratamiento  $N_1P_0K_0$  se aprecia esta influencia del nitrógeno a la vez que se aprecia un estado de "superposición" con la humedad, pues la producción aumenta al hacerle el nivel hídrico del suelo. No obstante, el valor obtenido en el nivel Alto es ligeramente inferior al que se presenta en el Normal y cuya causa pudiera encontrarse en la deficiente nutrición potásica de estas plantas, pues sin fertilización potásica y con un exceso de humedad la planta encuentra dificultad para absorber este nutriente, de aquí que la producción experimente una ligera disminución. El análisis de suelo al final de la experiencia (véase cuadro nº 57, pag. 198) nos confirma este supuesto, pues el contenido de  $K_2O$  es muy pequeño (4 mg. de  $K_2O$ ) y que indudablemente impide la buena nutrición potásica de la planta, máxime si las condiciones de absorción son tan deficientes como es este elevado nivel hídrico.

En el tratamiento  $N_1P_0K_1$  se aprecia unos rendimientos muy superiores a los del  $N_0P_0K_1$ , lo que nos confirma el carácter limitante del nitrógeno; se aprecia a su vez una mayor producción respecto al tratamiento  $N_1P_0K_0$  indicativo de la deficiencia del potasio y por último se observa que la producción aumenta al hacerle el nivel hídrico del suelo. Nos encontramos pues, en un

superposición" del nitrógeno, humedad y potasio contenidos en el suelo. Aún cuando el efecto de la fertilización potásica no se observe de una forma tan acentuada como las del nitrógeno y humedad; al realizar el análisis de la varianza nos encontramos ya con una significación estadística para este nutriente a la que catalogamos de simplemente significativa ( $F = 3,61$ ).

En el tratamiento  $N_1P_1K_0$  nos encontramos con una perfecta "superposición" entre los factores N, P y humedad, pues si se comparan los rendimientos obtenidos en este tratamiento con las producciones de los  $N_0P_1K_0$  y  $N_1P_0K_0$  observamos que son superiores en el tratamiento que nos ocupa y como a su vez la producción aumenta con la humedad, el estado de "superposición" es pues manifiesto.

La mayor producción que se obtiene en el nivel Bajo respecto a la obtenida en el mismo nivel hídrico del tratamiento  $N_1P_0K_0$  nos confirma la deficiencia del suelo en fósforo asimilable. Observándose el estado de "superposición" entre los nutrientes fósforo y nitrógeno.

Al pasar al nivel Normal de humedad, en este tratamiento  $N_1P_1K_0$ , el aumento de producción es inferior a los correspondientes de  $N_1P_0K_0$  y  $N_1P_0K_1$ . Si tenemos en cuenta que al añadir el fertilizante fosfatado añadimos también yeso que desplaza al potasio fijado en el suelo, hace que nos encontremos ante una fertilización más completa y que puede conducir a una mayor necesidad de agua, como ya hemos señalado repetidas veces, y hace que la producción disminuya al no disponer la planta de la suficiente humedad.

Qu este efecto no se presenta en el nivel Bajo de humedad se explica porque el yeso es poco soluble en agua de aquí que el desplazamiento del potasio, en este nivel hídrico, sea muy poco.

el que fertilizamos con los tres elementos nos encontramos con que al aplicarlos al suelo, el agua pasa a ser el factor fundamental de deficiencia, de tal forma que sólo al llegar al nivel Alto de la misma se obtiene un rendimiento superior a los obtenidos anteriormente lo que demuestra que estamos ante un suelo deficiente en los tres elementos y que el nivel Alto de humedad no es excesivo.

Para los niveles Bajo y Normal de humedad no se superan los rendimientos de los tratamientos  $N_1P_1K_0$  por lo ya dicho anteriormente respecto a que una mejor condición de fertilidad en el suelo necesita un nivel de agua más elevado.

A lo largo de las experiencias realizadas hemos podido comprobar la alta significación de los niveles de humedad en la producción vegetal. El aumento casi constante de los rendimientos al elevarse el nivel hídrico está de acuerdo con los datos suministrados por la bibliografía para esta planta (148) (129) (73).

Esta magnífica respuesta a la humedad tiene su fundamento en las características radiculares de la lechuga (129), pues se puede apreciar que el crecimiento de esta parte de la planta es casi en su totalidad vertical, desarrollándose muy poco en sentido horizontal, no pudiendo aprovecharse el total de humedad contenida en el suelo; de aquí el gran incremento que experimenta la producción al mantener el suelo continuamente húmedo.

La controversia suscitada por primera vez por Veihmeyer y Hendrickson (148), de si la llamada humedad útil, es igualmente utilizable para el desarrollo de la planta entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, o si por el contrario, a medida que disminuye el porcentaje de esta humedad la producción vegetal se restringe; aparece continuamente en la bibliografía y los estudios sobre este aspecto son varios (137).

El examen de los rendimientos obtenidos en nuestras experiencias nos conduce a admitir las dos tendencias, antes citadas, como válidas. Así encontramos que en la experiencia Humedad-Nitrógeno con suelo arenoso y en su nivel  $N_0$  de fertilización obtenemos una misma producción para los tres niveles de humedad, (véase cuadro nº 10). Algo parecido obtenemos en el nivel  $P_0$  de

se cuadro nº 13) pues se obtiene una misma producción en el tratamiento cuya humedad varía de un 40 á 100 % de la humedad útil y en el que oscila de un 80 á 100%. A su vez en este mismo suelo y en la experiencia Humedad-Potasio se obtiene una misma producción en los tres niveles de humedad, para los tratamientos  $K_1$  y  $K_2$  de fertilización.

Se observa pues, que cuando la fertilidad del suelo es muy baja los distintos porcentajes de humedad útil no afectan a los rendimientos. Por el contrario cuando la fertilidad es más alta, caso de los restantes tratamientos estudiados, la producción está afectada por el nivel hídrico del suelo aumentando los rendimientos del nivel Bajo al Normal y de éste al Alto. La producción aumenta pues a medida que el porcentaje inferior de humedad útil pasa del 0% al 40% de éste al 80%.

Estos resultados coinciden con los de Hagan (56) que estudia el efecto de distintos niveles de humedad y fertilización nitrogenada en la producción vegetal encontrando que la eficiencia del agua depende del nivel de fertilización.

La explicación a estos comportamientos entre los niveles de humedad y fertilización lo encontramos en las consideraciones que hicimos al principio de este capítulo sobre las llamadas interacciones y que nosotros definimos como zonas de "superposición".

En los casos de una deficiencia muy acusada en nutrientes minerales, la probabilidad de que haya zonas de superposición con el agua es muy pequeña, pues en muy pocos puntos o zonas del suelo los contenidos de nutrientes serán lo suficientemente altos como para dejar de ser factores limitantes absolutos. De aquí que las variaciones de la humedad útil no afectan a los rendimientos.

ta, aunque siga siendo deficiente, la producción es que haya "superposición" entre los niveles de humedad y de fertilización es mayor y de esta forma la producción aumenta a medida que la hace la humedad útil del suelo.

El incremento que experimenta la producción al elevarse la fertilización nitrogenada se pone de manifiesto en todas las experiencias realizadas con distintas dosis de nitrógeno, a excepción de las experiencias Humedad-Nitrógeno con suelo arcilloso y cuya causa ya explicábamos por la riqueza del suelo en nitrógeno. En el resto, la producción se incrementa linealmente con las distintas dosis de abonado nitrogenado.

Vemos pues, como la eficiencia del agua se ve incrementada con la fertilización nitrogenada independientemente del nivel hídrico del suelo, conclusión que está de acuerdo con la mayor parte de los trabajos que estudian esta relación (156) (150) (3) (25) (43).

Una situación diferente y que a su vez corrobora la relación antes citada entre el nitrógeno y el agua, es la que se presenta cuando el nivel de fertilización es muy bajo, caso de los niveles  $N_0$  y  $N_1$  de la experiencia Humedad-Nitrógeno con suelo arenoso y del nivel  $N_0P_0$  de la factorial con el arcilloso; pues en ellas se aprecia como la producción no responde a los niveles hídricos, obteniéndose una misma producción con los niveles Normal y Alto para la primera experiencia, así como en la factorial y en sus niveles Normal y Alto las diferencias de producción son prácticamente insignificantes. En estos casos un incremento del nivel de fertilización puede asociarse a un incremento de la producción, aumentando así la eficiencia del agua con la fertilización nitrogenada.

con la fertilización nitrogenada para un nivel dado de humedad, no lleva consigo un incremento en el consumo de agua; pues la cantidad de la misma que se añade a los tiestos es independiente de la fertilización, comprobándose así el efecto beneficioso del nitrógeno en el mejor uso de agua, pues su consumo no depende de la fertilización nitrogenada. Resultados éstos, que están de acuerdo con las pérdidas de agua de un cultivo por evapotranspiración, según las teorías de Penman, ya que según éste autor no dependen del mayor o menor desarrollo de la planta y sí de las condiciones ambientales.

Vamos pues, como la fertilización nitrogenada hace elevar el coeficiente de evapotranspiración o razón de materia seca producida/agua consumida, aunque en nuestro caso sólo hayamos medido el peso en fresco.

La efectividad de la fertilización fosfatada parece estar regulada por la humedad del suelo, así nos encontramos que en las distintas experiencias Fósforo-Humedad sólo se producen incrementos de la producción con la fertilización fosfatada, si el nivel hídrico es el Alto. Cuando el nivel de humedad es el Bajo no se producen incrementos apreciables a excepción del nivel  $P_1$  de la experiencia con suelo arenoso, en el que se observan un aumento de producción respecto a  $P_0$ , pero que se explica dada la pobreza de este suelo en P asimilable.

Lo mismo se observa en el nivel Normal de humedad, pues se puede apreciar que en líneas generales la fertilización fosfatada no afecta a los rendimientos en este nivel hídrico, a excepción de cuando el suelo es muy pobre en este nutriente, caso del arenoso, pero aún así solo se producen incrementos al pasar de  $P_0$  a  $P_1$  pero no de  $P_1$  a  $P_2$  y de éste a  $P_3$ . Resultados análogos a éstos son encontrados por Stambery (134) en cultivo de alfalfa.



rece que existen dos tendencias. En el nivel Bajo de humedad la aplicación de fosfato eleva los rendimientos si el suelo es pobre en fósforo asimilable, pues así conseguimos aumentar la cantidad del mismo en la solución del suelo.

Cuando la humedad está en su nivel Normal el efecto de la fertilización fosfatada es mucho más limitado, pues en este caso sólo se capaz de elevar la producción en los suelos muy deficientes en este elemento. Con este nivel hídrico pues, el suministro de fosfatos no está limitado y la planta puede nutrirse normalmente de este elemento.

Esto lo hemos comprobado en la práctica agrícola, pues hemos observado como en el norte de la provincia de Guadalajara los años secos producen deficiencias de fósforo en los cereales, mientras que en los años más húmedos no se presentan estas deficiencias.

Finalmente en el nivel Alto de humedad se consiguen apreciables incrementos de la producción con la fertilización fosfatada.

La causa de esta mayor efectividad parece ser debida a la gran movilidad de los iones fosfato en estas condiciones hídricas y sobre todo a que el contenido total de  $\text{PO}_4^{\equiv}$  disponible por la planta es mucho mayor, pues como hemos señalado anteriormente la solución del suelo se presenta saturada de iones fosfato (125) y al aumentar la solución del suelo, por un aumento de la humedad, la disponibilidad de este nutriente aumenta. Apoya esta suposición, el hecho de que la planta sólo absorba el fósforo cuando se presenta en disolución (155) (108). De aquí llegamos a la conclusión de que la mejor forma de poner los fosfatos a disposición de las plantas es aumentar la cantidad de solución del suelo, por lo que resulta de tan favorable efecto la elevada humedad en el aprovechamiento de los fosfatos, así como por el contrario el escaso efecto de los mismos cuando la humedad es reducida a

La menor movilidad de los  $K_2$  cuando el nivel de humedad es el Bajo da lugar a que las raíces no puedan aprovecharse de este nutriente, y por lo tanto que el desarrollo de la planta esté muy poco condicionado por la dosis de fósforo en el suelo. Esto explica a su vez la menor concentración de  $P_2O_5$  en la savia de las plantas cultivadas con un déficit de humedad.

La interrelación entre la fertilización potásica y la humedad del suelo no se pone de manifiesto tan frecuentemente como las ya estudiadas para el N y el P. Y sólo parece apreciarse en las experiencias factoriales y cuando el nivel de humedad es el Alto, pues se observa que es en este nivel hídrico donde únicamente la producción responde a la fertilización potásica.

Así encontramos que <sup>en</sup> la experiencia con suelo arenoso, muy pobre en K asimilable, la producción media pasa de 23,8 gr. para el tratamiento Alto- $K_0$  a 27,7 para el Alto- $K_1$ , mientras que en los restantes niveles hídricos no se produce aumento alguno de los rendimientos con la fertilización potásica. En la experiencia con suelo arcilloso se presenta una tendencia parecida, sobre todo en el nivel  $P_1$  de fertilización fosfatada y cuya explicación ya dábamos anteriormente.

El motivo de esta interrelación pudiera ser debido a que la absorción de potasio por la planta estuviese impedida por la deficiente respiración radicular, dado el elevado nivel de humedad que tiene el suelo en estas condiciones. Esta misma explicación da Larson (82) cuando estudia el efecto de la humedad y la fertilización potásica en la producción de remolacha azucarera.

No obstante creemos que gran parte de esta mayor efectividad de la fertilización potásica se deba a la pobreza de este

tes de realizar la experiencia de sólo 9 mgr./100 gr. de suelo, contenido deficiente para que con este nivel hídrico se obtengan los elevados rendimientos que antes dábamos.

Se confirma esta suposición en el análisis de suelo al final de la experiencia (véase cuadro nº 57, pag. 198) en el que se observa un bajo y semejante contenido de potasio en los dos niveles de fertilización y en el nivel Alto de humedad; lo que nos hace sugerir que la planta necesita extraer la casi totalidad del potasio asimilable, respondiendo desde ese momento a la fertilización potásica.

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

### **- ESTUDIO DE LA CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA SAVIA -**

Se exponen a continuación la concentración de cada uno de los nutrientes analizados en la savia en las distintas experiencias que hemos realizado; haciéndose el estudio por separado para cada nutriente.

Los valores de la concentración que se exponen en los siguientes cuadros corresponden a una media de cuatro análisis para las experiencias de tiesto pequeño y tres para las realizadas con tiestos grandes.

## **CONCENTRACION DE NITRATOS EN LA SAVIA**

## EXPERIENCIAS HUMEDAD-NITROGENO

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 23

### Experiencia Humedad-Nitrógeno

Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en mg. de N/1 de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	260	290	320	1.450
	Normal	200	260	280	1.300
	Alto	120	180	210	290
Arcilloso-Pequeño	Bajo	1.180	1.140	1.190	
	Normal	1.110	1.010	1.010	
	Alto	320	670	700	
Arcilloso-Grande	Bajo	1.530	1.610	1.600	
	Normal	1.330	1.300	1.640	
	Alto	1.160	1.170	1.150	

Las variaciones que experimenta la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia al variar la humedad del suelo es bien notoria; observándose la misma tendencia en los distintos tipos de suelo, tiestos y niveles de fertilización. En todos ellos, se encuentra que la concentración de nitratos disminuye a medida que la humedad del suelo aumenta. Presentándose la máxima concentración en el nivel Bajo de humedad y la mínima en el Alto.

En el suelo arenoso, y dada la pobreza de este suelo en nitrógeno, (véase cuadro n° 2) la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia responde muy bien a la fertilización nitrogenada; observándose un progresivo incremento de la concentración a medida que la fertilización aumenta. Este incremento se observa en los tres niveles de

presentar siempre la menor concentración de  $\text{NO}_3^-$ , para un nivel dado de nitrógeno en el suelo, el incremento que se observa es pequeño. La pequeña concentración en el tratamiento Alto- $\text{N}_3$  pudiera ser debida a la baja concentración de K que se obtiene en este mismo tratamiento (véase cuadro nº 31) que hace disminuir la concentración de aniones por efecto de compensación iónica; a la vez que el aumento de producción que se experimenta al pasar a este tratamiento hace bajar, por efecto de dilución, la concentración de este anión.

En el suelo arcilloso, muy rico en nitrógeno, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en los tres niveles de fertilización es muy elevada y solo en los tiestos pequeños y con el nivel Alto de humedad se aprecia el efecto de la fertilización; en este caso el incremento de la concentración es muy señalado pasando de 320 mg. de N/1 para  $\text{N}_0$  a 700 para  $\text{N}_3$ . A su vez, la disminución que se produce al pasar del nivel Normal de humedad al Alto, es muy acusada, observándose diferencias de hasta 800 mg. entre un nivel y otro.

Todo ello parece indicar que las plantas en estos tiestos y para este nivel Alto de humedad agotan las reservas nitrogenadas del suelo y entonces responden a los distintos tratamientos nitrogenados. Esta respuesta de la concentración está de acuerdo con la producción obtenida, pues también, sólo en este nivel de humedad se obtienen diferencias de producción para las distintas dosis de nitrógeno en el suelo, (véase cuadro nº 6). En estas condiciones pues, tanto la concentración de  $\text{NO}_3^-$  como la producción están limitadas por la fertilización nitrogenada.

En las experiencias con tiestos grandes, no se observan variaciones apreciables de la concentración con la fertilización; obteniéndose para los distintos niveles de fertiliza-



como en el resto de las experiencias, es el mismo, observándose como la concentración disminuye a medida que la humedad aumenta.

Con estos tiestos grandes no se produce la caída brusca que se presentaba en los tiestos pequeños al pasar del nivel Alto al Normal, se explica este distinto comportamiento por la mayor cantidad de suelo del que disponen las plantas en estos tiestos, que les permite seguir nutriéndose normalmente sin agotar las reservas nitrogenadas del suelo. El hecho de que la concentración de nitratos sea mayor con los tiestos grandes que con los pequeños, para un mismo nivel de humedad y fertilización, parece ser debida a la misma causa anterior.

## DISTINTAS EXPERIENCIAS HUMEDAD-POSFORO

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  halladas en estas experiencias se expresan en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 24

### Experiencia Fósforo-Humedad

Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en mg. de N/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POSFATADA			
		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	800	400	400	260
	Normal	400	360	400	260
	Alto	220	250	150	175
Arcilloso-Pequeño	Bajo	970	1.070	1.100	
	Normal	590	610	640	
	Alto	300	90	60	
Arcilloso-Grande	Bajo	950	860	1.010	
	Normal	855	765	890	
	Alto	650	610	810	

En estas experiencias, como en las anteriores, se observa el mismo efecto de la humedad del suelo en la concentración de nitratos en la savia. Se encuentra pues, que para los dos tipos de suelos y tiesto, y en todos los niveles de fertilización fosfatada, la concentración de nitratos en la savia disminuye a medida que la humedad aumenta.

El efecto de la fertilización fosfatada en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  es distinta según el tipo de suelo. Así en el arenoso, muy pobre en N, nos encontramos que la concentración disminuye a medida que la fertilización fosfatada aumenta mientras que en el arcilloso, más rico en nitrógeno, no se observa una tendencia definida.

el efecto del P en la concentración de nitratos se observa de una forma mucho más señalada que en los niveles Normal y Alto; comportamiento de fácil explicación, ya que siendo en este nivel de humedad donde se presenta la mayor concentración de nitratos, para un nivel dado de fertilidad, las variaciones que puede producir el P son mucho más acusadas que en los restantes niveles hídricos.

Se aprecia pues en este nivel Bajo una clara y ostensible disminución de la concentración a medida que la fertilización fosfatada aumenta, y así tenemos que la concentración pasa de 800 mg de N/l de savia, para la dosis  $P_0$  á 260 para la  $P_3$ .

En la experiencia con tiestos pequeños del suelo arcilloso y en su nivel Alto de humedad se observa un comportamiento parecido, pues se aprecia que la concentración disminuye al aumentar la fertilización fosfatada. El hecho de que en este tratamiento se presenta este comportamiento, pues este suelo arcilloso es rico en nitrógeno, parece explicarse por un agotamiento de las reservas nitrogenadas del suelo, dada la elevada producción que se obtiene en este tratamiento, y el que las plantas se desarrollan en sólo 1 Kg. de suelo, lo que conduce a que la absorción de  $\text{NO}_3^-$  esté muy limitada.

Ahora bien, la explicación de que la fertilización fosfatada produzca estas disminuciones en la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , cuando el suelo es pobre en nitrógeno, parece encontrarse en que al incrementarse la absorción de  $\text{PO}_4^{3-}$  por la planta, se produce una mayor actividad en los procesos de síntesis lo que conduce a una reducción de los iones nitrato y por lo tanto a que disminuya su concentración en la savia. A resultados análogos llegan Routhenko y Cadahía (124) con plantas de tomate.

mento de  $\text{PO}_4$  produce una mayor absorción de los  $\text{NO}_3$  hasta el extremo de que se produce una mayor acumulación en la planta, pues entonces la producción viene limitada por el agua u otros factores, de modo que puede producirse un mayor aumento en la absorción que en el consumo. Que es lo que parece ocurrir en la experiencia con tiestos grandes en el suelo arcilloso.

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  halladas en estas experiencias se expresan en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 25****Experiencia Humedad-Potasio**

Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en mg. de N/1 de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	<u>NIVELES DE FERTILIZACION POTASICA</u>			
		$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Arenoso-Pequeña	Bajo	225	160	145	200
	Normal	145	120	130	125
	Alto	115	120	105	110
Arcilloso-Pequeño	Bajo	150	170	230	
	Normal	150	120	150	
	Alto	70	75	100	
Arcilloso-Grande	Bajo	690	550	650	
	Normal	600	480	550	
	Alto	270	190	290	

Se sigue observando en estas experiencias el mismo efecto de la humedad en la concentración de nitratos en la savia, y que se manifiesta por la disminución de la concentración a medida que la humedad aumenta, produciéndose la mayor concentración en el nivel Bajo de humedad y la mínima en el Alto.

Se puede apreciar en este cuadro de valores una baja concentración de nitratos para todos los niveles de humedad y fertilización.

La explicación de esta pequeña concentración podría buscarse en la disminución de la fertilidad de estos suelos tras haberlos empleado en las experiencias anteriores, según se puede comprobar en sus análisis (véase cuadro n° 4, pag. 54).

**PERIENCIAS FACTORIALES**

Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

**CUADRO N° 26****Experiencias Factoriales**

Concentración de  $\text{NO}_3^-$  en mg. de N/1 de savia

Nivel de humedad	<u>NIVELES DE FERTILIZACION</u>								
	<u>Suelo arenoso</u>								
	$N_0$				$N_1$				
	$P_0$		$P_1$		$P_0$		$P_1$		
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	
	Bajo	400	450	290	300	775	840	360	710
	Normal	160	155	140	170	295	320	275	295
	Alto	50	55	20	90	80	80	50	60
	<u>Suelo arcilloso</u>								
	$N_0$				$N_1$				
	$P_0$		$P_1$		$P_0$		$P_1$		
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	
	Bajo	170	180	160	155	300	260	210	240
	Normal	35	30	40	40	200	150	110	110
	Alto	35	25	30	20	60	76	65	95

Se observa en estas experiencias que el efecto de la humedad en la concentración de nitratos es el mismo que se ha observado a lo largo de las experiencias anteriores, es decir, una continua disminución de la concentración a medida que la humedad aumenta. Consecuencia de un aumento en la producción fundamentalmente.

observa en las dos experiencias para todos los niveles de fertilización de NPK; la causa de esta pequeña concentración parece deberse al déficit de nitrógeno que presenta el suelo, dado que la elevada producción que se obtiene en estas experiencias agota la mayoría de las reservas nitrogenadas del mismo y que se confirma en el análisis de suelo al final de la experiencia.

En el nivel  $N_0$  de fertilización nitrogenada se aprecia una menor concentración respecto a la observada para el  $N_1$ , comportamiento lógico dada la diferencia de fertilización entre ambos niveles.

El efecto del fósforo en la concentración de nitratos es el mismo en los dos tipos de suelo y en los distintos niveles de fertilización. Encontrándose el mismo comportamiento que se observó en la experiencia Humedad-Fósforo del suelo arenoso, es decir, la concentración de  $NO_3^-$  disminuye a medida que la de fósforo aumenta, debido a un aumento en el consumo de ambos como plastificantes. La falta de fósforo hace que se acumule el N cuando no se fertiliza con fosfato a no ser que el suelo sea rico en este nutriente.

El hecho de que no se presente la tendencia opuesta, el aumentar los  $NO_3^-$  con el P, se explica por el agotamiento de las reservas nitrogenadas del suelo, dado que la planta se ha desarrollado hasta el máximo y ha absorbido casi la totalidad del nitrógeno asimilable. También se explica esta menor concentración de  $NO_3^-$  en los niveles  $P_1$  por el hecho de que las plantas bien nutridas en fosfatos aceleran la reducción de los  $NO_3^-$  a N orgánico (124).

Al igual que en las experiencias Potasio-Humedad, no se observa que los niveles de Potasio afecten a la concentración de nitratos en la savia.

Las concentraciones de nitratos en la savia encontradas en las distintas experiencias se exponen en los cuadros nº 23, 24, 25 y 26.

En todas las experiencias se observa que la concentración disminuye a medida que la humedad del suelo aumenta, encontrándose de esta forma, la máxima concentración en el nivel Bajo y la mínima en el Alto.

Esta mayor concentración de nitratos en la planta cuando la tensión de humedad es alta, es observada por varios investigadores, entre ellos tenemos: Hanway (60) con plantas de maíz y soja, a Hagin (58) con tomates, a Cannell (18) en el apio, a Mc Kenzie (90) en el algodón y otros muchos (64) (91). Los trabajos para estudiar la concentración de N total en la planta según la humedad del suelo corroboran las observaciones anteriores pues en la mayoría de ellos, véase cuadro sinéptico pag. 10, se observa que el porcentaje de N en la planta aumenta con la tensión de humedad.

La explicación de este comportamiento parece ser sencilla, pudiéndose explicar tanto por razonamientos edafológicos como puramente fisiológicos. En primer lugar los periodos de sequía por los que se hace pasar el suelo, en el nivel Bajo de humedad hace que la aireación, temperatura y mineralización del N orgánico favorezca la absorción del ión nitrato (91) (122); mientras que la elevada humedad con una pobre aireación y una mineralización deficiente reduce la absorción del mismo.

A su vez la elevada humedad en el suelo da lugar a que las plantas se desarrollen mucho más y se presente en ellas el "fenómeno de dilución", pues los iones absorbidos tienen que extenderse a lo largo de toda la planta disminuyendo así su concentración en la savia.



$\text{NO}_3^-$  que se reducen para suministrar el nitrógeno orgánico necesario para la formación de los tejidos vegetales en estos tratamientos de elevada producción de materia verde.

Por el contrario las plantas poco desarrolladas por causa de una deficiente humedad presentan una elevada concentración de nitratos, pues no hay dilución posible, dado su pequeño desarrollo vegetativo.

Las relaciones que se observan con la fertilización fosfatada corresponden a la utilización conjunta por la planta del N y P, por ésto disminuye la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la planta cuando la fertilización con fosfato aumenta el suministro de este a las hojas y por tanto, el consumo de  $\text{NO}_3^-$  en la síntesis.

## **CONCENTRACION DE FOSFATOS EN LA SAVIA**

Las concentraciones de  $P_2O_5$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 27****Experiencia Humedad-Nitrógeno**

Concentración de  $P_2O_5$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION NI			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	570	400	220	170
	Normal	580	450	290	160
	Alto	650	610	420	250
Arcilloso-Pequeño	Bajo	70	70	90	
	Normal	75	80	90	
	Alto	100	90	100	
Arcilloso-Grande	Bajo	60	80	75	
	Normal	125	90	150	
	Alto	110	140	150	

Se observa en estas experiencias como la concentración de  $P_2O_5$  en la savia aumenta a medida que se eleva el nivel hídrico del suelo. Tendencia que se repita en los dos tipos de suelo y tieg te y en todos los niveles de fertilización.

En la experiencia con suelo arenoso se observa una notable disminución en la concentración de  $P_2O_5$  a medida que la fertilización nitrogenada aumenta. Aquí se nos presenta el mismo fenómeno que se observa al estudiar la concentración de  $NO_3^-$  en las experiencias Fósforo-Humedad. Pudiéndose decir que en un suelo deficiente en P y N la fertilización fosfatada hace disminuir la concentración de  $NO_3^-$  en la savia mientras que la nitrogenada disminuye la de fosfato.

Dado el caracter plastificante de estos dos nutrientes, no se puede presentar entre ellos interacción alguna, pues el P

la planta y viceversa; de aquí que la explicación del efecto del P en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y la del N en la  $\text{PO}_4^{=}$  no pueden encontrarse en un antagonismo iónico, como ocurre con los nutrientes catiónicos.

La explicación a estos fenómenos parece ser la misma que dan Rouchenko y Cadahía (124) al estudiar la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia en un cultivo de tomates con cantidades crecientes de  $\text{PO}_4^{=}$  en la solución del suelo, concluyendo que el P acelera la organización de los nitratos en la planta. Aquí lo que parece ocurrir es que al ser el N limitante y disminuir esta deficiencia por la fertilización se obtiene un mayor desarrollo de la planta aumentando con ello el consumo de  $\text{PO}_4^{=}$ , pudiendo decir que el N acelera la transformación de los  $\text{PO}_4^{=}$  en P orgánico.

Otra explicación a este comportamiento creemos encontrarla en el diferente ciclo vegetativo en que se encuentran las plantas según el tratamiento de fertilización. Teniendo en cuenta, el efecto de P en acelerar el ciclo vegetativo de la planta, adelantando su maduración, y el del nitrógeno en disminuirlo (125) (115) (6), así como los trabajos de Jimeno (77) (76) sobre el análisis de savia de la lechuga romana, en los que observa que la concentración de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aumenta y la de  $\text{NO}_3^-$  disminuye a medida que la planta envejece; se puede suponer que la disminución de la concentración de  $\text{P}_2\text{O}_5$  con la fertilización nitrogenada es debida a que la planta se encuentra en un estado poco avanzado de su ciclo vegetativo.

La explicación más convincente es la que ya dimos al hablar del  $\text{NO}_3^-$ . Por ser estos dos elementos plastificantes, si se aumenta la concentración de uno aumenta el proceso de síntesis en la planta y por lo tanto disminuye la concentración del otro en

elemento que no se incrementa por la fertilización, ya está en concentración alta en el suelo; como es natural no se observa disminución del mismo en la savia pues la planta aumenta la absorción del mismo al aumentar sus necesidades.

En las experiencias con suelo arcilloso parece ser que el fósforo es el factor deficiente, dado las bajas concentraciones de  $P_2O_5$  que se observan en la savia; no se aprecian variaciones en cuanto a la fertilización nitrogenada, comportamiento lógico, ya que el suelo no es deficiente en este nutriente.

## EXPERIENCIAS HUMEDAD-POSFORO

Las concentraciones de  $P_2O_5$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 28

Experiencia Fósforo-Humedad

Concentración de  $P_2O_5$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POSFATADA			
		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	80	160	320	430
	Normal	90	340	540	660
	Alto	80	250	330	500
Arcilloso-Pequeño	Bajo	105	130	140	
	Normal	110	180	160	
	Alto	165	260	280	
Arcilloso-Grande	Bajo	55	80	95	
	Normal	80	120	110	
	Alto	115	170	185	

Se observa en estas experiencias que el efecto de la humedad en la concentración de  $P_2O_5$  en la savia, depende del tipo de suelo. Así encontramos que en el arenoso la máxima concentración se presenta en el nivel Normal de humedad, mientras que en el arcilloso se presenta en el Alto. Esta dualidad la vamos a encontrar en las restantes experiencias dejando su discusión para el final de este estudio. La mínima concentración se presenta siempre con el menor nivel de humedad, observándose este fenómeno en todos los tratamientos estudiados.

La respuesta a la fertilización es mucho más notable en la experiencia con suelo arenoso y que se explica por la pobreza de este suelo en P asimilable (véase cuadro n° 3, pag. 52) y por el poco poder de fijación que tiene este suelo dado su carácter

En las experiencias con suelo arcilloso la respuesta a la fertilización es menos clara, encontrándose que no hay diferencias apreciables de concentración entre  $P_1$  y  $P_2$  para los niveles de humedad Normal y Baje. Parece explicarse este comportamiento por el elevado poder de fijación que tiene este suelo, dada su riqueza en calcio y su elevada capacidad de cambio, amén de ser un suelo moderadamente rico en P.

No obstante en el nivel Alto de humedad se observa como la concentración de  $P_2O_5$  en la savia aumenta al elevarse la fertilización fosfatada. Aquí, a igual que cuando estudiamos la producción, encontramos que sólo con una elevada humedad puede la planta responder a las distintas dosis de abonado fosfatado.

En líneas generales se observa que la máxima concentración de  $P_2O_5$  se presenta en las experiencias con suelo arenoso, le sigue luego en experiencia realizada con tiestos pequeños con suelo arcilloso y por último en la experiencia con tiestos grandes. Las razones que se pueden aducir para explicar este comportamiento son varias.

El que se presente la máxima concentración en las experiencias con suelo arenoso se puede explicar por la pequeña retención que posee este suelo para los fosfatos. Teniendo en cuenta a su vez que la absorción de  $NO_3^-$  está muy limitada y por lo tanto el consumo que hace la planta del P absorbido es mucho menor.

En la experiencia con suelo arcilloso y tiestos grande la absorción está más limitada por el poder de fijación del suelo a la vez que el consumo de  $PO_4^{3-}$  por la planta es mucho mayor dado su desarrollo.

## EXPERIENCIAS HUMEDAD-POTASIO

Las concentraciones de  $P_2O_5$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 29

Experiencia Humedad-Potasio

Concentración de  $P_2O_5$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tíestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POTASICA			
		$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Arenoso-Pequeño	Bajo	330	300	320	250
	Normal	450	340	480	480
	Alto	410	460	470	450
Arcilloso-Pequeño	Bajo	380	315	340	
	Normal	390	370	400	
	Alto	390	380	450	
Arcilloso-Grande	Bajo	150	170	200	
	Normal	180	250	220	
	Alto	290	330	270	

Se puede apreciar en estas experiencias que la máxima concentración de  $P_2O_5$  se presenta indistintamente en los niveles Normal y Alto de humedad. Así encontramos que en la experiencia con suelo arenoso, aún cuando la máxima concentración se presenta en el nivel Normal las diferencias respecto a las obtenidas en el nivel Alto son despreciables. En las experiencias con suelo arcilloso se observa igual tendencia, aunque aquí, la máxima concentración se presenta normalmente en el nivel Alto.

El efecto de la fertilización potásica en la concentración de  $P_2O_5$  no es apreciable, obteniéndose una concentración casi igual para las distintas dosis de fertilización.



Las concentraciones de  $P_2O_5$  halladas en estas experiencias se expresan en el siguiente cuadro:

**CUADRO N° 30****Experiencias factoriales**

Concentración de  $P_2O_5$  en mg/l de savia

Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION							
	<u>Suele Arenoso</u>							
	$N_0$				$N_1$			
	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$
Bajo	355	345	470	400	510	560	670	700
Normal	430	455	590	550	750	720	960	1,150
Alto	380	370	440	430	660	580	820	760
	<u>Suele arcilloso</u>							
	$N_0$				$N_1$			
	$P_0$		$P_1$		$P_0$		$P_1$	
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$
Bajo	400	400	580	540	410	380	550	450
Normal	640	600	680	750	440	480	570	550
Alto	680	680	760	760	530	540	640	580

Se observa en estas experiencias que el efecto de la humedad en la concentración de  $P_2O_5$  en la savia es distinto según el tipo de suelo. Así encontramos que en el arenoso la máxima concentración se presenta en el nivel Normal mientras que en el arcilloso este máximo se presenta en el Alto.

El efecto de la humedad, no es tan señalado en estas experiencias como en las anteriores; pues se presentan en los tres niveles de humedad una concentración bastante elevada de  $P_2O_5$  que ha-

Esta elevada concentración parece que se debe a que las plantas se encuentran en un ciclo vegetativo bastante avanzado (76), suposición que es muy posible, ya que el cultivo se desarrolló bajo unas condiciones ambientales de calor y luminosidad, meses de verano, que indudablemente hace adelantar el ciclo vegetativo de la planta.

El efecto de la fertilización nitrogenada es a su vez distinto según el tipo de suelo. Y así observamos que en el suelo arenoso, medianamente rico en nitrógeno, la concentración de  $P_2O_5$  aumenta con la fertilización, mientras que en el arcilloso se presenta el fenómeno contrario, es decir, en el nivel  $N_0$  se presenta una concentración mayor en el  $N_1$ .

Teniendo en cuenta la pobreza del suelo arcilloso en nitrógeno, (véase cuadro nº 5, pag. 56), y dado que en el nivel  $N_0$  no se fertiliza con abonos nitrogenados, las plantas desarrolladas en este medio tan deficiente en nitrógeno presentan una elevada concentración de  $P_2O_5$ , muy superior a la encontrada en el nivel  $N_1$  del mismo suelo y que es debida a que no consumen  $PO_4^{\overline{III}}$  por falta de nitrógeno.

A lo largo de las experiencias anteriores hemos encontrado que las plantas desarrolladas sobre suelo arenoso presentan una mayor concentración que aquéllas otras cultivadas en el arcilloso; sin embargo en estas experiencias factoriales encontramos que las concentraciones en el nivel  $N_0$  del suelo arcilloso son mayores que las del  $N_0$  del arenoso.

La explicación que pudiera tener este fenómeno lo encontramos en el carácter limitante de  $N_0$ , que a la vez que hace incrementar el contenido de  $P_2O_5$  en la savia, al impedir que la planta se desarrolle normalmente; influye en el estado de maduración o ciclo vegetativo de la planta adelantándole y por lo tanto elevando la concentración de  $PO_4^{\overline{III}}$  de una forma tal que supera a la observada e

El efecto de la fertilización fosfatada en la concentración de  $P_2O_5$  es muy marcada, produciéndose el esperado incremento de la concentración al aumentar la fertilización. Este efecto se observa en los dos tipos de suelo y en todos los niveles de fertilización. Pero sobre todo en los niveles  $N_1$  de fertilización nitrogenada en los que se observa un notable incremento de la concentración de  $P_2O_5$  en  $P_0$  y  $P_1$ . La causa de ello posiblemente sea debida a la mayor extracción que en estas condiciones tiene lugar.

No se observa efecto alguno de la fertilización potásica en la concentración de  $P_2O_5$ .

A lo largo de las experiencias realizadas se observa que la concentración de  $P_2O_5$  en la savia está regulada por dos factores fundamentales: humedad del suelo y fertilización fosfatada. Presen-  
tándose una elevada concentración de  $P_2O_5$  cuando el suelo es rico en fósforo o cuando el nivel hídrico es elevado.

No obstante se observa en algunas experiencias, sobre to-  
do en las realizadas con suelo arenoso, que la máxima concentración se presenta en el nivel Normal de humedad. Este parece indicar que la concentración de  $P_2O_5$  en la savia, está regulada por dos facto-  
res que dependen de la humedad y tienen efectos opuestos. En pri-  
mer lugar se tiene que la humedad facilita la absorción de fosfa-  
tos, ya que los solubiliza y los pone a disposición de las raíces para su absorción, de ahí su elevada concentración en la savia cuan-  
do la humedad es alta. Por otro lado, el menor desarrollo vegetati-  
vo ante un déficit de humedad hace que los  $PO_4^{\equiv}$  absorbidos se con-  
centren en la savia, por un efecto contrario al de la dilución. La  
conjugación de estos dos factores determinará si la máxima concen-  
tración se presenta en un nivel hídrico o en otro.

La mayor absorción de P con la humedad se podría expli-  
car por el hecho de que la concentración de  $PO_4^{\equiv}$  en la solución del  
suelo es prácticamente independiente de la humedad del mismo (125).  
De esta forma cuanto mayor sea la humedad del suelo, mayor es la  
cantidad de iones  $PO_4^{\equiv}$  que pasan a la solución para así mantener  
constante su concentración, y la cantidad total de estos iones  
que la planta puede absorber aumentarán linealmente con la hume-  
dad, que es en líneas generales lo obtenido en nuestras experien-  
cias con suelo arcilloso y en la mayoría de los trabajos realiza-  
dos sobre este tema, (véase cuadro sinóptico pag. 10).

explicarse como lo hacen Olsen y col. (108), por los efectos físicos y fisiológicos que el nivel hídrico crea en el suelo y en la planta respectivamente. No cabe duda que al incrementarse la tensión de humedad la película de agua que rodea a la partícula de suelo se hace más delgada y el camino a recorrer por los iones desde esta partícula a las raíces se hace mayor lo que indudablemente reduce la absorción de estos iones por la planta.

A su vez la tensión de humedad ejerce toda una serie de efectos fisiológicos en las raíces que pudiera afectar a la absorción de este ión. La elongación, turgidez y número de pelos radiculares disminuyen al aumentar la tensión de humedad y que a su vez puedan disminuir la concentración del "carrier" (57) y como resultado reducir la absorción de P.

Las relaciones entre el P y el  $H_2O$  parecen ser muy estrechas y la asimilación por la planta de uno de ellos parece llevar consigo la absorción del otro. Se confirma esta suposición con los trabajos de Goodall en lechugas (51) que encuentra un progresivo aumento del porcentaje de humedad en la planta a medida que la fertilización fosfatada aumenta. Por otro lado Fawcett (41) encuentra que las raíces sometidas a una alta tensión de humedad se vuelven oscuras, tomando una tonalidad marrón.

En nuestras experiencias y principalmente en el suelo arenoso hemos podido comprobar que esta tonalidad marrón aparece tanto si la tensión de humedad es elevada como si el suelo se presenta muy deficiente en este elemento; con lo que corroboramos que esta tonalidad marrón más que a la deficiente humedad se debe a la poca o nula absorción de  $PO_4^{3-}$  por la raíz. Son varios los trabajos que citan este color de las raíces cuando se encuentran con deficiencias de fósforo (116).

Vemos pues como estas dos magnitudes, P y humedad, están íntimamente relacionadas. Aumentando la riqueza de P en la

centaje de humedad en la planta al incrementarse la fertilización fosfatada. Al estudiar la producción vegetal en las distintas experiencias Humedad-Fósforo, (cuadros nº 11, 12, 13), observamos también una estrecha relación entre estos dos nutrientes, pudiéndose apreciar que sólo con una elevada humedad puede la planta responder a las también elevadas dosis de P.

Las concentraciones de  $P_2O_5$  obtenidas en las experiencias con suelo arenoso difieren en varios aspectos de las obtenidas con suelo arcilloso. En primer lugar, siendo un suelo muy pobre en fosfatos, presenta siempre concentraciones de  $P_2O_5$  en la savia muy superiores a las conservadas en las experiencias con suelo arcilloso. Por otra parte la máxima concentración se presenta generalmente en el nivel Normal de humedad mientras que en las experiencias con suelo arcilloso se presenta en el Alto.

Al estudiar las propiedades tanto físicas como químicas del suelo arenoso se puede apreciar que son varias las características que pueden favorecer una mayor asimilabilidad de los fosfatos, respecto a la que presenta el suelo arcilloso. Así tenemos que siendo un suelo con pequeña capacidad de retención de agua, hace que se riegue con mucha frecuencia facilitando así la solubilización del P y por lo tanto que la planta lo pueda absorber más fácilmente. A su vez, dado su carácter ligeramente ácido hace que los fosfatos del suelo estén en su mayoría en la forma de  $PO_4H_2^-$ , forma iónica en la que es absorbido la casi totalidad del P por la planta, contribuyendo así a una elevación en la concentración de este elemento en la planta.

Todos estos factores influyen en la absorción de P por la planta y hace que la asimilabilidad de este elemento en el suelo arenoso sea mayor que en el arcilloso, donde la riqueza del suelo en  $CO_3Ca$  hace que los fosfatos dados como fertilizantes se transformen en fosfato tricálcico que ya no es fácilmente asimilable por la planta. Además la menor riqueza en nitrógeno del suelo

La causa de que la máxima concentración se presente en el nivel Normal no está muy clara, pudiera decirse que al encontrarse la planta ante unas condiciones tan óptimas para la nutrición fosfórica, como son las que presenta el suelo arenoso, la humedad que facilita la disolución de los  $\text{PO}_4^{\overline{3}}$  para ser absorbidos, deja de jugar un papel tan limitante en la absorción de este elemento y entonces el efecto de dilución, que siempre se presenta cuando la planta está muy desarrollada, supera el efecto beneficioso de la abundante humedad (nivel Alta) en la absorción de este elemento. Hibbard y col. (64) encuentran este mismo comportamiento para el césped.

Per lo visto hasta aquí, la absorción de este elemento según los niveles hídricos depende mucho del tipo de suelo; siendo necesario hacer constar, al exponer los resultados de la nutrición vegetal, el tipo de suelo en el que se ha desarrollado las plantas. Este fallo lo encontramos en la mayor parte de la bibliografía, pues son muy pocos los autores que al exponer los resultados de un tratamiento cualquiera sobre la nutrición vegetal, especifican el tipo de suelo en el que realizan la experiencia.

## **CONCENTRACION DE POTASIO EN LA SAVIA**



Consideramos a continuación las concentraciones de K obtenidas en las distintas experiencias Humedad-Nitrógeno, cuyos resultados exponemos en el siguiente cuadro:

**CUADRO N° 31**

**Experiencia Humedad-Nitrógeno**  
**Concentración de K en mg/l de savia**

Tipos de Suelos y Tastos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	4.070	4.020	4.190	5.130
	Normal	4.110	4.130	3.920	4.305
	Alto	4.270	4.130	4.190	3.900
Arcilloso-Pequeño	Bajo	6.600	7.150	6.850	
	Normal	6.000	6.070	6.220	
	Alto	5.030	5.000	4.731	
Arcilloso-Grande	Bajo	8.250	8.630	8.730	
	Normal	6.820	5.970	7.220	
	Alto	5.120	5.260	5.120	

En la experiencia en suelo arenoso y en los tres primeros niveles de fertilización se observa una concentración semejante de K en todos los niveles de humedad y fertilización. Sin embargo, se aprecia que el valor máximo de concentración para un nivel de fertilización dado, se presenta en el nivel Alto de humedad y que la diferencia de concentración entre este nivel y el Bajo va disminuyendo a medida que la fertilización nitrogenada aumenta; al llegar al nivel N<sub>2</sub> se obtiene una misma concentración (4.190) para estos dos niveles extremos de humedad. Al pasar al tratamiento más alto de Nitrógeno (N<sub>3</sub>) el proceso que se venía observando se invierte y se obtiene la máxima concentración en el nivel Bajo de humedad, disminuyendo luego la concentración a medida que el nivel hídrico se eleva.

la humedad es bien claro, observándose, tanto en tiestos grandes como en pequeños, que la concentración de K disminuye a medida que la humedad aumenta. Se aprecia en la concentración la diferencia del tamaño de los tiestos, observándose que con tiestos grandes se presentan concentraciones mayores; diferencias lógicas dada la mayor cantidad de suelo, que disponen las plantas cultivadas en los tiestos grandes.

Para este suelo arcilloso no se aprecian tendencias definidas sobre la influencia de la fertilización nitrogenada en la concentración K.

El efecto de la fertilización nitrogenada se aprecia mejor en el suelo arenoso, así se puede observar que en el nivel Alto de humedad la concentración disminuye a medida que la fertilización aumenta; se explica, ya que en este nivel la producción aumenta linealmente con la fertilización nitrogenada y este mayor desarrollo de la planta hace que la concentración de K en su savia disminuye. En el nivel Bajo se observa, al contrario que en el Alto, un progresivo incremento de la concentración con la fertilización nitrogenada. En la discusión general que se hace más adelante sobre el potasio, discutiremos este comportamiento de K en la humedad y la fertilización en general.

El incremento que experimenta la concentración al pasar del tratamiento Bajo- $N_2$  al Bajo- $N_3$  parece explicarse por el aumento que también experimenta la concentración de  $NO_3^-$  entre estos tratamientos, pues pasa de 320 mg de N/l en el Bajo- $N_2$  a 1.450 en el Bajo- $N_3$ . Pudiéndose decir por ello, que la elevación en la concentración de K tiene lugar para compensar la elevada concentración de aniones en la savia.

## CONCENTRACION DE POTASIO EN LA SAVIA.

Discutimos a continuación las concentraciones de potasio obtenidas en las distintas experiencias Humedad-Fósforo y cuyos resultados exponemos en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 32

Experiencia Fósforo-Humedad

Concentración de K en mg/l de savia

Tipos de Suelos y tiesto	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POSFATADA			
		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	4.300	4.130	4.350	4.230
	Normal	3.880	3.300	3.670	3.840
	Alto	4.400	4.500	3.630	3.830
Arcilloso-Pequeño	Bajo	5.650	6.020	5.790	
	Normal	4.670	4.800	5.090	
	Alto	4.050	4.050	4.236	
Arcilloso-Grande	Bajo	6.270	7.100	6.320	
	Normal	5.120	5.390	5.280	
	Alto	4.180	3.900	3.980	

Se observa en la experiencia con suelo arenoso, que el efecto de la humedad en la concentración de K en la savia, depende del nivel de fertilización. Así encontramos que en los niveles P<sub>0</sub> y P<sub>1</sub> de fertilización, la máxima concentración se presenta en el nivel Alto de humedad, le sigue luego el Bajo, encontrándose la menor concentración en el nivel Normal. Al elevarse la fertilización y alcanzar los niveles P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub>, el efecto de la humedad es el opuesto al observado anteriormente, es decir la máxima concentración se presenta ahora en el nivel Bajo mientras que en los niveles Normal y Alto se aprecia una misma concentración.

Esta inversión del efecto de la humedad en la concentración de K es la misma que se presenta en el nivel N<sub>3</sub> de f

esta inversión.

Dado que el efecto de la humedad en la concentración de K varía con la fertilización fosfatada, presentándose el máximo de concentración en el nivel Alto para los niveles de fertilización  $P_0$  y  $P_1$ , mientras que para los  $P_2$  y  $P_3$  se presenta este máximo en el nivel Bajo. Era de esperar que la concentración de K aumentase con la fertilización fosfatada en el nivel Bajo, o disminuyese en el Alto. Es esto último lo que parece ocurrir presentándose concentraciones inferiores en  $P_2$  y  $P_3$  que en los niveles  $P_0$  y  $P_1$ .

Esta disminución de la concentración al aumentar la dosis de fertilización y precisamente en el nivel Alto de humedad se puede explicar por el "efecto de dilución" ya que en este nivel de humedad se produce un aumento lineal de los rendimientos, al aumentar la fertilización fosfatada. Se explica también esta disminución de la concentración por la pobreza del suelo en K asimilable, (véase cuadro nº3, pag. 52), que justifica el que se presente el "efecto de dilución".

En las experiencias con suelo arcilloso se sigue observando la tendencia encontrada en las experiencias Humedad-Nitrógeno, es decir que la concentración disminuye con la humedad, presentándose la máxima y mínima concentración en los niveles Bajo y Alto respectivamente. No se observa una tendencia definida de la fertilización fosfatada en la concentración de K, a veces parece observarse un aumento de la concentración con la dosis de P, pero las diferencias no son significativas. Se sigue observando también que la concentración con los tiestos grandes es mayor que con los pequeños.

Discutimos a continuación las concentraciones de potasio obtenidas en las distintas experiencias Humedad-Potasio, cuyos resultados exponemos en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 33

Experiencia Humedad-Potasio  
Concentración de K en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POTASICA			
		K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	3.025	2.990	3.560	4.665
	Normal	2.920	3.120	3.590	4.150
	Alto	3.310	3.760	4.020	4.205
Arcilloso-Pequeño	Bajo	4.350	5.720	5.970	
	Normal	3.780	5.120	5.180	
	Alto	3.930	4.450	4.900	
Arcilloso-Grande	Bajo	4.790	5.360	5.760	
	Normal	3.830	4.730	4.920	
	Alto	4.190	4.900	5.000	

En la experiencia con suelo arenoso y en los tres primeros niveles de fertilización se observa que la máxima concentración se presenta en el nivel Alto de humedad, mientras que la mínima se presenta en el nivel Normal. Al aumentar el contenido de potasio en el suelo, nivel K<sub>3</sub> de fertilización, el efecto de la humedad es distinto y el máximo de concentración se presenta ahora en el nivel Bajo de humedad. Se sigue repitiendo pues, lo observado en las experiencias anteriores, es decir cuando se llega a los niveles mas altos de fertilización N<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, la máxima concentración deja de presentarse en el nivel Alto de humedad para hacerlo en el Bajo. En consecuencia, cuando la fertilidad es buena, con un nivel Alto de humedad se obtiene más producción y el contenido de potasio en la savia baja. Lo contrario ocurre cuando la fertilidad del suelo es pe-

Esta experiencia que en las anteriores. Más adelante en la discusión general sobre este nutriente trataremos de nuevo esta cuestión.

La respuesta a la fertilización es bien notoria aumentando de la concentración, en los tres niveles de humedad, a medida que la fertilización potásica aumenta. Esta clara respuesta a la fertilización está justificada por la pobreza del suelo en potasio asimilable, (véase cuadro nº 4, pag. 54), y por su poca tendencia a fijar potasio dado su carácter arenoso y su pequeña capacidad de cambio. De esta forma el potasio dado como fertilizante se mantiene en el suelo en forma iónica libre, que es más fácilmente asimilable por la planta.

En las experiencias con suelo arcilloso se observa una misma tendencia de la humedad en los dos tipos de tieste, se sigue presentando la máxima concentración en el nivel Bajo de humedad mientras que en los niveles Normal y Alto se presenta una parecida concentración, aunque parece observarse que en el nivel Normal se presenta una concentración menor. La respuesta a la fertilización se observa muy bien entre el nivel  $K_0$  y al  $K_1$ , pero para  $K_2$  se presenta una concentración muy parecida a la observada en  $K_1$ , aunque siempre superior. Creemos que la poca respuesta observada para la fertilización sea debida a un proceso de fijación de este catión. Esta fijación se explica por el carácter fuertemente arcilloso del suelo y por tenerlo sometido a periodos alternativos de elevada humedad y sequía que indudablemente influye en la fijación del potasio (2) (136).

Discutimos a continuación las concentraciones de potasio obtenidas en las experiencias factoriales y cuyos resultados experimentales exponemos en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 34

## Experiencias Factoriales

Concentraciones de K en mg/l. de savia

Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION							
	<u>Suelo arenoso</u>							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	7		7					
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
Bajo	5610	6640	5230	6800	3430	4400	2850	3880
Normal	4400	4460	4190	4710	3280	3170	2810	3530
Alto	3735	3985	3820	4190	3510	3360	2510	3000

	<u>Suelo arcilloso</u>							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
Bajo	5300	5560	5560	5640	5440	6350	5300	6280
Normal	4520	4810	4810	5180	5200	5350	5120	5270
Alto	4810	5140	4560	4870	4500	4690	4610	4660

Se puede observar que el efecto de la humedad en la concentración de K en la savia es el mismo en los dos tipos de suelos; encontrándose, para la mayoría de los tratamientos, que la concentración disminuye al aumentar la humedad del suelo, de esta forma la máxima concentración se presenta en el nivel Bajo mientras que la mínima lo hace en el Alto.

del arcilloso deja de presentarse esta tendencia, encontrándose que la mínima concentración se presenta en el nivel Normal en vez de hacerlo en el Alto, como lo hacen la mayoría de los tratamientos de fertilización.

El efecto de la fertilización nitrogenada es distinto según el tipo de suelo, así encontramos que con el suelo arenoso muy pobre en potasio asimilable, la concentración de este elemento en la savia disminuye al aumentar la fertilización nitrogenada; disminución que está justificada por la mayor producción vegetal que se obtiene con el tratamiento  $N_1$ , que disminuye las ya pobres reservas de K en el suelo y hace aparecer el "efecto de dilución" con mayor intensidad. El análisis de suelo al final de la experiencia (véase cuadro nº 57, pag. 198) nos confirma esta gran disminución del K asimilable en el tratamiento  $N_1$ .

En el suelo arcilloso no se presenta este efecto y la concentración de potasio no varía con la fertilización nitrogenada, aún cuando la producción vegetal con  $N_1$  llegue a superar largamente la obtenida en  $N_0$ , aquí pues no se presenta el efecto de dilución ya que la riqueza del suelo en K es bastante grande y el suministro de K no está limitado.

Al igual que con la fertilización nitrogenada, el efecto de la fertilización fosfatada sobre la concentración de K en la savia, solo se presenta en los casos en los que la absorción de este nutriente esté muy limitada: como lo es el tratamiento  $N_1K_0$  del suelo arenoso. Así tenemos, que solo se presenta en el suelo arenoso que es muy pobre en potasio, en el nivel  $N_1$  de fertilización nitrogenada que prácticamente agota las reservas de K asimilable en el suelo, y en el nivel de fertilización  $K_0$  que no recibe fertilización potásica.

De esta forma se observa, que la concentración del nivel  $N_1P_0K_0$  es muy superior a la del  $N_1P_1K_0$ , disminución lógica, ya que este último nivel de fertilización se produce un aumento de produ-



bido al "efecto de dilución".

Podría explicarse también esta disminución del K por una interacción negativa P/K, interacción que es citada por Lecourt(84) en el análisis de savia y varios investigadores en cítricos (131), pero a nosotros nos parece que fisiológicamente no es posible aceptar un efecto de esta naturaleza, cosa que exponemos en detalle al hablar de la producción (pag. 59).

El efecto de la fertilización potásica en la concentración de potasio en la savia se observa en los dos tipos de suelo y en todos los tratamientos estudiados. Este efecto se presenta con distinta intensidad según el nivel de humedad en el suelo. Así encontramos que el aumento es mucho mayor cuando el nivel de humedad es el Bajo que cuando es el Normal o Alto. La explicación a este fenómeno la podemos encontrar en el aumento que experimentan los rendimientos con la fertilización potásica cuando el nivel hídrico del suelo es el Alto. De aquí que las plantas tengan una igual concentración en  $K^+$  cuando el tratamiento es Alto- $K_0$  que cuando lo es Alto- $K_1$  dado el "efecto de dilución" que se presenta en el último tratamiento.

Se observa a lo largo de las experiencias estudiadas que la concentración de potasio en la savia varía con la humedad del suelo en dos direcciones opuestas: en una aumenta con la humedad y en otra disminuye. La explicación de este comportamiento parece simplificarse si se analiza a fondo cuando se presenta un comportamiento y cuando otro.

Se observa, que la disminución de la concentración al aumentar la humedad, se presenta en aquéllos suelos con una elevada fertilidad potencial o en aquéllos otros menos fértiles, pero que se les fertiliza con altas dosis de abonos nitrogenados o fosfatados, que hacen elevar la producción vegetal; tal es el caso de la mayoría de los tratamientos en el suelo arcilloso, y de las siguientes con el arenoso:  $N_3$  en la experiencia Humedad-Nitrógeno,  $P_2$  y  $P_3$  en la Humedad-Fósforo y en la totalidad de la factorial.

Esta disminución de la concentración al elevarse la humedad del suelo podemos explicarla diciendo que es debida a un efecto de dilución, pues al elevarse el nivel hídrico del suelo y con él la producción, la concentración de nutrientes en la savia tiende a disminuir, pues los nutrientes absorbidos se difunden a lo largo de toda la planta, presentando una concentración mucho menor que aquellas otras plantas cuyo desarrollo vegetal está fuertemente limitado por una humedad deficiente. Esta disminución se pone más de manifiesto si la mayor producción llega a agotar las reservas de potasio asimilable, tal como ocurre en las experiencias factoriales.

Este comportamiento del K con la humedad del suelo, está de acuerdo con lo predicho por el equilibrio Donnan, según el efecto de valencia con la dilución (158) como más adelante veremos.

noso en general y el arcilloso en gran parte de la experiencia Humedad-Potasio y en el tratamiento  $\text{H}_2\text{PO}_4$  de la factorial, el efecto de la humedad es distinto. En estos casos la humedad no es factor limitante fundamental de la producción y su déficit en el suelo no llega a reducir tanto la producción como para obligar a que los nutrientes absorbidos se acumulen en la savia y lleguen a elevar su concentración como en los casos anteriores.

Vemos pues como el efecto de la humedad en la concentración de K en la savia depende del nivel de fertilidad del suelo. Cuando la fertilidad es alta y es la humedad la que controla la producción, se encuentra que al elevar el nivel hídrico del suelo y con él los rendimientos, la concentración de K en la savia disminuye; disminución ésta, que se produce por un efecto de dilución en la planta.

Por el contrario en los suelos de menor fertilidad, el efecto de la humedad en los rendimientos no es tan grande, y el pequeño aumento que experimenta la producción al pasar de un nivel hídrico a otro superior, no es capaz de producir el efecto de dilución, al menos en toda su extensión y así la concentración no experimenta una variación definida.

El hecho de que en los tratamientos con baja fertilidad se presente la máxima concentración indistintamente en el nivel Bajo o Alto, nos hace suponer que en este caso la concentración está regulada por dos tipos de factores; unos que tienden a elevar la concentración con la humedad y otros a disminuirla.

Entre los factores citados en la bibliografía y que contribuyen a disminuir la concentración cuando la humedad aumenta y por tanto a que en el nivel Alto se presente una menor

(154) (138); (b) dilución de los nutrientes en el suelo (147); (c) deficiente respiración radicular (83) (1) (104); (d) "efecto de valencia" con la dilución, según el equilibrio Donnan (158).

De los factores citados por la bibliografía que contribuyen a elevar la concentración a medida que el nivel hídrico del suelo aumenta y por lo tanto a que en el nivel Alto se presente la mayor concentración, tenemos: (a) mayor disolución del potasio unido al suelo, y que es favorecida dada la poca fijación que tiene lugar en estas condiciones de humedad (88) (136) (1); (b) mayor desarrollo radicular y por lo tanto mayor absorción (1) (49) (37); (c) pequeño incremento de la producción entre el nivel Bajo y Alto de humedad, dada la pequeña fertilidad del suelo y que impide se presente el "efecto de dilución" en la planta.

El predominio de uno de estos dos tipos de factores determinará en que nivel de humedad se presenta el máximo de concentración, pudiéndose decir que la concentración de este elemento en la savia de las plantas es la sumación de toda una serie de factores que actúan en diversos sentidos. De todos ellos indudablemente el que tiene un mayor efecto es el de dilución. Así tenemos que en la experiencia Humedad-Nitrógeno con suelo arenoso, y en el nivel  $N_2$  de fertilización, la humedad casi llega a ser el único factor limitante y entonces la concentración de potasio en la savia desciende al pasar del nivel Bajo de humedad al Normal. No obstante en el nivel Alto vuelve a subir la concentración de K, pues para este contenido de humedad el N es el verdadero limitante de la producción y por lo tanto la humedad no tiene suficiente efecto como para que se presente en la planta el "efecto de dilución".

nutrición potásica (82) (83), se podría explicar la baja concentración que presentan las plantas de las experiencias con suelo arcilloso y en su nivel Alto de humedad por la deficiente aireación radicular que tienen en estas condiciones, dado que es un nivel muy húmedo y en un suelo arcilloso, donde indudablemente la respiración está muy limitada.

No obstante el hecho de que cuando el nivel de fertilidad de este suelo es bajo, caso de la experiencia Humedad-Potasio y del tratamiento  $H_2OPO$  de la experiencia factorial, no aparezca este comportamiento, pues presentan una concentración en el nivel Alto superior a la encontrada en el Normal, nos hace suponer que es el nivel de fertilidad el que regula de una forma casi total el comportamiento de la humedad en la nutrición potásica, aún cuando no se pueda descartar totalmente la influencia de la aireación.

En la revisión bibliográfica realizada para estudiar el efecto de la humedad en la concentración de K en la planta nos encontramos los dos tipos de tendencia unas veces la concentración aumenta con la humedad y en otras disminuye, (véase cuadro sinóptico pag. 10).

Suponemos que esta disparidad de resultados es debida a las distintas condiciones experimentales en las que se realizan las experiencias, siendo posiblemente el agua unas veces el factor limitante fundamental, mientras que en otras los factores limitantes que regulan la producción o el desarrollo vegetativo lo sean el agua y la fertilidad del suelo; dándose así los distintos comportamientos que hemos visto en la bibliografía.

De aquí la conveniencia de fijar siempre el estado o nivel de fertilidad del suelo, al estudiar la nutrición mineral de la planta en función de la humedad del suelo; defecto en el que incurren la mayoría de los trabajos que se han publicado sobre este tema, y que nosotros tratamos de corregir.

# **CONCENTRACION DE CALCIO EN LA SAVIA**

Estudiamos a continuación las concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  hallados en las distintas experiencias Humedad-Nitrógeno y cuyos valores se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 35****Experiencias Humedad-Nitrógeno**

Concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en mg/l. de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	<u>NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA</u>			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	375	270	270	500
	Normal	345	290	250	340
	Alto	480	410	310	280
Arcilloso-Pequeño	Bajo	545	390	320	
	Normal	550	500	460	
	Alto	345	340	360	
Arcilloso-Grande	Bajo	620	670	785	
	Normal	410	514	540	
	Alto	310	290	340	

Se observa en la experiencia con suelo arenoso y en sus tres primeros niveles de fertilización que la máxima concentración de  $\text{Ca}^{++}$  se presenta en el nivel Alto de humedad. Al disminuir el nivel hídrico disminuye también la concentración, aún cuando no haya diferencias apreciables entre los niveles Normal y Bajo. Para el nivel de fertilización N<sub>3</sub> se presenta el fenómeno inverso: el máximo de concentración se presenta en el nivel Bajo, disminuyendo luego a medida que la humedad aumenta.

En la experiencia con suelo arcilloso y tiesto pequeño, se observa que la máxima concentración se presenta en el nivel Normal de humedad; en los niveles Bajo y Alto se presenta una parecida concentración de este ión, a excepción del valor encontrado para el

valores encontrados para la concentración de Calcio en esta experiencia son muy superiores a los observados en la experiencia con suelo arenoso; elevación que es debida naturalmente al mayor contenido en Calcio del suelo arcilloso.

En la experiencia con tiesto grande y suelo arcilloso, encontramos que la máxima concentración se presenta en el nivel Bajo de humedad disminuyendo luego a medida que el nivel hídrico del suelo aumenta. Se observa a su vez que la concentración de Ca aumenta con la fertilización nitrogenada. Este efecto del N es observado por varios investigadores (95) (36) (77) y lo relacionan con el aumento que experimenta la capacidad de cambio de las raíces que facilita la absorción de los cationes divalentes sobre los monovalentes.


Se observa en cada una de estas experiencias un distinto comportamiento de la humedad respecto a la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en la savia. Así tenemos que en la experiencia con suelo arenoso se presenta la máxima concentración en el nivel Alto de humedad, a excepción del tratamiento  $\text{N}_3$ . En la realizada con suelo arcilloso y tiesto pequeño se presenta el máximo en el nivel Normal y en la de tiestos grandes en el Bajo. Vemos pues, como las tres variaciones posibles que se pueden presentar, tienen lugar en estas experiencias.

Comparando este comportamiento con la producción media obtenida en cada experiencia encontramos que a medida que aumenta la producción, la máxima concentración se va trasladando hacia los niveles de humedad más bajos; tendencia esta, que se confirma en el nivel  $\text{N}_3$  del suelo arenoso.

Encontramos pues, que a medida que eliminamos los factores que limitan la producción, riqueza del suelo en N y cantidad de suelo en los tiestos, la máxima concentración de  $\text{Ca}^{++}$  pasa des-



eleva el carácter limitante de la humedad en la producción, ya que eliminamos la influencia de la fertilidad al pasar del suelo arenoso al arcilloso y el efecto de la cantidad de suelo al pasar de los tiestos pequeños a los grandes, el "efecto de dilución" se presenta con mayor claridad.



## TRACION DE CALCIO EN LA SAVIA

Se estudian aquí las concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  halladas en las distintas experiencias Humedad-Fósforo, cuyos valores se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 36

Experiencia Fósforo-Humedad

Concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POSFATADA			
		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	140	160	150	175
	Normal	130	110	150	160
	Alto	150	220	160	220
Arcilloso-Pequeño	Bajo	390	360	350	
	Normal	305	310	340	
	Alto	260	300	325	
Arcilloso-Grande	Bajo	375	380	380	
	Normal	325	320	340	
	Alto	250	270	250	

Se observa en la experiencia con suelo arenoso, que la mínima concentración se presenta en el nivel Normal de humedad mientras que los valores obtenidos para los niveles Bajo y Alto son muy parecidos. De aquí parece deducirse que la humedad del suelo gobierna la concentración de Calcio en dos direcciones opuestas: por una parte hace que la absorción aumente al elevarse el nivel hídrico del suelo y por otra hace disminuirla; más adelante discutiremos ampliamente el efecto de la humedad en la absorción de este catión.

El suelo arcilloso y tanto en los tiestos pequeños como en los grandes se observa que la máxima concentración se pre-

tiestos pequeños, a excepción del nivel  $P_0$ , se presenta una misma concentración en los niveles Normal y Alto. Mientras que en los tiestos grandes se observa una continua disminución de la concentración a medida que la humedad aumenta.

Se observa pues, que a medida que la humedad se convierte en el principal factor limitante de la producción el efecto de dilución se presenta con mayor intensidad y cuyo fundamento es el mismo que damos en la discusión sobre el potasio.

Sólo en la experiencia con suelo arcilloso y tiesto pequeño y en los niveles Normal y Alto de humedad, se aprecia el efecto de la fertilización fosfatada en la concentración de Calcio, aquí parece que se produce un incremento de la concentración a medida que la fertilización fosfatada aumenta. Incremento que se explica por la cantidad de calcio que se añade al suelo al fertilizar con superfosfato. El hecho de que el efecto del superfosfato en la concentración de Ca se observe en los niveles solo de elevada humedad se explica por la mayor solubilidad de los fosfatos y sobre todo del yeso en el agua.

## CONCENTRACION DE CALCIO EN LA SAVIA.

Estudiamos a continuación las concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  halladas en las distintas experiencias Humedad-Potasio, y cuyos valores se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 37

Experiencia Humedad-Potasio

Concentración de  $\text{Ca}^{++}$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POTASICA			
		$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Arenoso-Pequeño	Bajo	175	155	160	180
	Normal	185	185	160	190
	Alto	250	270	265	270
Arcilloso-Pequeño	Bajo	400	440	485	
	Normal	340	350	365	
	Alto	360	335	330	
Arcilloso-Grande	Bajo	390	395	350	
	Normal	310	300	260	
	Alto	360	300	285	

Se observa que en la experiencia con suelo arenoso se presenta el máximo de concentración en el nivel Alto de humedad; los valores obtenidos en los niveles Normal y Bajo son prácticamente iguales, pues las diferencias entre unos y otros caen dentro del error experimental. No apreciándose efecto alguno de la fertilización potásica en la concentración de Calcio en la savia.

En las experiencias con suelo arcilloso, y tanto en tiestos grandes como en pequeños, se observa una tendencia opuesta a la observada en el suelo arenoso; la máxima concentración de

los niveles Normal y Alto se presenta una misma concentración.

No se observa una tendencia definida de la fertilización potásica en la concentración de calcio en la savia.

Sólo y con diferencias pequeñas, parece observarse en los niveles Normal y Alto de los tiestos grandes una disminución de la concentración a medida que la fertilización potásica aumenta. Disminución que podría estar motivada por el aumento de producción vegetal que se obtiene al elevar la dosis de K en el suelo o por la conocida interacción Ca/K (62).

## TRACCIÓN DE CALCIO EN LA SAVIA

Discutimos a continuación las concentraciones de calcio en la savia obtenidas con las experiencias factoriales; los valores para esta concentración se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 38

### Experiencias Factoriales

Concentración de Calcio en mg/l de savia

Nivel de humedad	Niveles de Fertilización							
	<u>Suelo arcilloso</u>							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
	895	920	855	840	800	800	730	705
Bajo	890	920	810	890	690	700	670	690
Normal	800	940	650	715	670	590	650	660
Alto								
	<u>Suelo arenoso</u>							
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>			
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>	
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>
	980	770	750	690	450	470	505	505
Bajo	760	745	620	735	490	510	485	480
Normal	900	700	750	750	630	570	560	660
Alto								

Se aprecia en estas experiencias una elevada concentración de calcio en todos los tratamientos de humedad y fertilización que superan largamente a las concentraciones observadas en las restantes experiencias, (Véanse los cuadros anteriores).

savia de esta planta, va aumentando a medida que avanza su ciclo vegetativo (76) podríamos explicar este comportamiento diciendo que la elevada concentración que se presenta en estas experiencias se debe a que la planta se encuentra en un estado avanzado de desarrollo.

Suposición que muy bien pudiera ocurrir, dado que el cultivo se desarrolló durante los meses de verano y en los que el crecimiento de la planta fué muy rápido. A su vez la alta concentración de  $P_2O_5$  y la baja de  $NO_3^-$  que se observan en estas experiencias (véanse cuadros nº 26 y 30, págs. 116 y 127) nos confirman el avanzado estado de desarrollo de estas plantas que nos justifica la elevada concentración de Calcio.

El efecto de la humedad en la concentración de Calcio es distinto según el tipo de suelo en el que se realiza la experiencia, presentándose las mismas tendencias que hasta ahora se han venido observando para estos suelos. Así encontramos que en el suelo arenoso, y salvo en los tratamientos  $H_2OPOK_0$  y  $H_2OPOK_1$ , la máxima concentración se presenta en el nivel Alto de humedad. Las diferencias entre el nivel Normal y Bajo son pequeñas aunque se puede observar una mayor concentración en el nivel Bajo. En la experiencia con suelo arcilloso el efecto de la humedad es más regular, observándose la tendencia opuesta que aparece en el arenoso, es decir, que el máximo de concentración se presenta en el nivel Bajo disminuyendo luego a medida que la humedad aumenta.

El efecto de la fertilización nitrogenada es el mismo en los dos tipos de suelos y se manifiesta por una disminución de la concentración a medida que el contenido de nitrógeno en el suelo aumenta. De esta forma, encontramos que los valores de la concentración para el nivel  $N_1$ , en el suelo arenoso,

los valores más altos de Ca se encuentran en el nivel  $N_0$ . Este comportamiento, es el opuesto al encontrado por varios investigadores (36) (95) que observan un mayor contenido de Calcio en la planta a medida que la fertilización nitrogenada aumenta, lo que explican por, el aumento que experimenta la capacidad de cambio de las raíces, con el abonado nitrogenado, por lo que absorben una mayor proporción de cationes divalentes,

Este comportamiento se puede explicar teniendo en cuenta el efecto del nitrógeno en retrasar el ciclo vegetativo de la planta (115) (125). De esta forma en el nivel más bajo en nitrógeno ( $N_0$ ) se desarrollan las plantas con un ciclo vegetativo más avanzado que en el nivel  $N_1$ . De aquí que, teniendo en cuenta el efecto del ciclo vegetativo en el contenido de calcio en la savia (76), se debe esperar una mayor concentración en el nivel  $N_0$  que en el  $N_1$ , tanto para el suelo arenoso como para el arcilloso, como en realidad así sucede.

A su vez la mayor producción que se obtiene en los tratamientos  $N_1$  hace que se presente el efecto de dilución con mayor intensidad que en los tratamientos  $N_0$ . El efecto de la fertilización fosfatada sólo se observa en el suelo arenoso, muy pobre en Calcio; y que se manifiesta por una elevación de la concentración a medida que el contenido de P en el suelo aumenta, tendencia lógica ya que al aumentar la fertilización fosfatada se eleva el contenido de Calcio en el suelo. Para el suelo arcilloso, rico en Calcio, no se observa efecto alguno de la fertilización fosfatada.

Las variaciones producidas por la fertilización potásica son despreciables, no apreciándose tendencia alguna en las variaciones.



Al tratar de explicar el efecto de la humedad del suelo en la concentración de calcio en la savia, nos encontramos que en líneas generales el comportamiento de este catión es el mismo que el observado para el potasio.

Así tenemos que en las experiencias realizadas con suelo fértil en las que la humedad es el factor limitante fundamental de la producción, el aumento que experimentan los rendimientos, con la elevación del nivel hídrico del suelo, es capaz de producir el efecto de dilución en la concentración de este catión en la savia. Se presenta este comportamiento en la mayor parte de las experiencias realizadas con suelo arcilloso, sobre todo en la de tiestos grandes donde el suministro de nutrientes minerales es mayor, aumentando con ello el carácter limitante de la humedad. En las experiencias con suelo arenoso sólo se presenta en el nivel  $N_3$  de la Humeda Nitrógeno.

Por el contrario en las experiencias con suelo poco fértil, como lo son la mayoría de las realizadas con suelo arenoso y gran parte de la Humedad-Potasio con suelo arcilloso, así como el nivel  $H_0P_0$  con este mismo suelo; el aumento que experimenta la producción con el nivel hídrico no es lo suficientemente grande como para provocar un efecto de dilución en la savia, presentándose así la máxima concentración en el nivel Alto de humedad.

La causa de esta mayor concentración en los niveles más altos de humedad podemos encontrarla en la mayor asimilabilidad de este catión en los suelos más húmedos, pues aquí la cantidad de calcio en disolución es mucho mayor que en los suelos poco húmedos, dada la pequeña solubilidad de los compuestos cálcicos del suelo.

A su vez se puede explicar este comportamiento mediante el equilibrio Donnan, ya que "el efecto de valencia" con la dilución, según este equilibrio, supone una mayor absorción de calcio por la planta al elevarse la humedad del suelo, siempre y cuando como ocurre en nuestro caso, la capacidad de cambio de las raíces de la planta supere a la del suelo.

Creemos que la variación de la concentración en la savia según la humedad del suelo, viene gobernada por la interrelación del "efecto de valencia" con la dilución según el equilibrio Donnan que contribuye a elevar la concentración de calcio en la planta al aumentar la humedad del suelo, y el "efecto de dilución" que tiende a disminuirla. Esta interrelación nos explicaría el comportamiento observado en la experiencia factorial con suelo arenoso y el que aparece en la experiencia Humedad-Nitrógeno con suelo arcilloso y tiesto pequeño que presenta el máximo de concentración en el nivel Normal de Humedad.

ESTUDIO DE LA RAZON  $K/\sqrt{Ca}$  EN LA SAVIA

Las razones  $K^+ / \sqrt{Ca^{++}}$ , calculadas a partir de las concentraciones de  $K^+$  y  $Ca^{++}$  encontradas en las experiencias Nitrógeno-Humedad, se exponen en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 39**

**Experiencias: Nitrógeno-Humedad**

**Valores para las razones  $K^+ / \sqrt{Ca^{++}}$**

**Concentraciones en m Moles/l de savia**

Tipos de Suelos y Tiestos	Niveles de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	34	40	41	38
	Normal	36	39	40	38
	Alto	31	33	38	38
Arcilloso-Pequeño	Bajo	46	59	63	
	Normal	42	44	47	
	Alto	44	44	40	
Arcilloso-Grande	Bajo	54	54	51	
	Normal	54	42	50	
	Alto	47	50	46	

Se puede apreciar en estas experiencias que para la mayoría de los niveles de fertilización la razón  $K^+ / \sqrt{Ca^{++}}$  disminuye gradualmente a medida que la humedad del suelo aumenta. Es de destacar que en el tratamiento N<sub>3</sub> del suelo arenoso se obtengan tres valores iguales para los tres citados niveles de humedad, lo que se explica dada la inversión que tiene lugar en este tratamiento el comportamiento del K y Ca con la humedad, (véase cuadro n° 31 y 35).

igual comportamiento de la humedad respecto a estas razones; aún cuando se presentan excepciones totalmente inexplicables caso de los tratamientos Normal-N<sub>1</sub> en tiesto grande y Normal-N<sub>0</sub> en el pequeño, que presentan valores inferiores a los obtenidos en el nivel Alto.

No se aprecia un efecto definido de la fertilización nitrogenada en las razones  $K^+ / \sqrt{Ca^{++}}$ , pudiéndose decir que hay una tendencia a la constancia, pues las variaciones observadas no son realmente significativas.

Se exponen a continuación los valores de las razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  calculadas a partir de las concentraciones de  $K^+$  y  $Ca^{++}$  halladas en la savia de las distintas experiencias Fósforo-Humedad.

CUADRO N° 40

Experiencias Fósforo-Humedad

Valores de la razón  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$

Concentraciones en m Moles/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel hídrico	NIVELES DE FERTILIZACION			
		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	60	53	56	51
	Normal	55	53	50	49
	Alto	58	50	46	41
Arcilloso-Pequeño	Bajo	50	56	59	
	Normal	47	51	49	
	Alto	46	40	39	
Arcilloso-Grande	Bajo	53	59	52	
	Normal	47	49	49	
	Alto	43	38	41	

Se puede apreciar que en las tres experiencias, y para todos los niveles de fertilización, la humedad afecta de igual forma a la razón  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$ , pues la disminución que experimenta su valor al elevarse el nivel hídrico del suelo es bien notorio en todos los tratamientos.

En las experiencias con suelo arenoso se observa como las razones van disminuyendo a medida que aumenta la fertilización; comportamiento lógico, ya que la absorción de Ca aumenta con la fertilización fosfatada en esta experiencia. Tendencia análoga se

lo arcilloso y tiesto pequeño, en el que también la concentración de Ca aumenta con la fertilización, (véase cuadro nº 36, pág. 152).

En la experiencia con tiestos grandes y en los niveles Normal y Bajo de los pequeños, con suelo arcilloso, no se observa variación de esta razón con la fertilización fosfatada, ya que la cantidad de Ca que contiene el suelo es tan elevada que la añadida con el fertilizante no tiene efecto en la concentración de este elemento en la savia. El hecho de que sólo en los tiestos pequeños y en su nivel Alto la razón disminuya con la fertilización, se explica por el agotamiento del Calcio asimilable del suelo, dado que la producción en este nivel es alta y sólo se desarrolla en 1 kg. de suelo, lo que obliga a la planta a nutrirse del calcio dado en la fertilización fosfatada.

Discutimos a continuación los valores de la razón  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  encontrados en la savia de las distintas experiencias Potasio-Humedad. Los valores hallados con estas experiencias se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 41

Experiencia Potasio-Humedad

Valores para las razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$

Concentraciones en m moles/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION			
		K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	37	39	46	59
	Normal	35	38	46	49
	Alto	34	37	41	41
Arcilloso-Pequeño	Bajo	35	44	50	
	Normal	33	44	44	
	Alto	33	40	44	
Arcilloso-Grande	Bajo	38	44	59	
	Normal	35	44	49	
	Alto	36	46	48	

Se aprecia en estas experiencias, como las razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  van disminuyendo a medida que el nivel de humedad aumenta; aún cuando en varios tratamientos de fertilización, se obtengan valores casi iguales para los tres niveles de humedad. Es de destacar que esta disminución con la humedad, es poco apreciable para los primeros niveles de fertilización, K<sub>0</sub> y K<sub>1</sub>; pero ya en los tratamientos superiores K<sub>2</sub> y K<sub>3</sub>, las diferencias son mucho mayores.

El efecto de la fertilización potásica es el esperado; pues se produce un aumento de la razón  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  a medida que la fertilización aumenta.



Se exponen a continuación las razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  encontradas en las experiencias factoriales y cuyos valores se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 42

Experiencias Factoriales

Razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  en la savia

Concentración en m Moles/l de savia

Niveles de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION								
	<u>Suelo arenoso</u>								
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>				
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	
	Bajo	26	40	31	40	25	32	19	28
	Normal	26	27	28	29	24	23	21	26
Alto	20	24	23	25	22	23	17	19	
	<u>Suelo arcilloso</u>								
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>				
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	
	Bajo	29	30	31	32	32	37	32	38
	Normal	22	26	25	28	32	32	32	33
Alto	28	25	29	27	28	31	30	30	

En estas experiencias como en las anteriores se sigue observando el mismo efecto de la humedad en las razones  $K^+/\sqrt{Ca^{++}}$  pues se puede apreciar que en la mayoría de los tratamientos de fertilización el valor de estas razones disminuye a medida que la humedad del suelo aumenta.

esta razón en estas experiencias son inferiores a los observados en las anteriores. Estos valores quedan explicados al comparar las elevadas concentraciones de calcio obtenidas en esta experiencia, con las obtenidas en las restantes.

El efecto de la fertilización es poco apreciable, y sólo en el suelo arenoso parece observarse que la fertilización nitrogenada hace disminuir el valor de estas razones y que podría explicarse por la mayor dilución de K que tiene lugar en este nivel nitrogenado (véase cuadro nº 34). No parece observarse un efecto definido de la fertilización fosfatada y en cuanto a la potásica, se observa el efecto esperado, es decir, una elevación en estas razones al fertilizar con sales potásicas, aún cuando en varios tratamientos, y para los niveles de humedad Normal y Alto, las diferencias no llegan a ser significativas y cuya razón ya exponíamos al estudiar la concentración de potasio en estas experiencias.

En los cuatro tipos de experiencias realizadas observamos un mismo efecto de la humedad en el valor de las razones  $K^+ / Ca^{++}$ , pues se puede apreciar que en términos generales, dicho valor tiende a disminuir a medida que el nivel hídrico del suelo aumenta.

Esta disminución está de acuerdo con las predicciones que hace Wiklander (158) sobre el comportamiento de la nutrición catiónica de la planta al elevarse la humedad del suelo, denominando a este fenómeno "efecto de valencia" con la dilución.

Han sido varios los intentos para comprobar tal efecto pero los resultados no siempre fueron los apetecidos. Así Moss (104) estudia el efecto de la humedad en la absorción de cationes por la planta de rábano, encontrando que la tensión de humedad eleva la concentración de cationes tanto monovalentes como divalentes en la planta, sin embargo al expresar estas concentraciones mediante la fórmula  $\log. K / \sqrt{Ca + Mg}$ , encuentra una marcada constancia en sus valores para los distintos niveles de humedad. No pudiendo comprobar el efecto de valencia, ya que el valor de esta expresión, debe disminuir a medida que la humedad aumenta.

Crooke y Knight (28) estudian este tema y afirman que la demostración experimental del efecto de valencia con la dilución, en la composición de cationes mono y divalentes en la parte aérea de la planta es difícil de comprobar por dos razones: 1ª) el máximo efecto de valencia, sólo ocurre en soluciones muy diluídas, condición que probablemente no se encuentra en los suelos agrícolas, más o menos fertilizados y 2ª) los cationes pueden ser absorbidos en las proporciones que indican el equilibrio Donnan, pero al tener lugar la traslocación, la composición catiónica de la parte aérea de la planta no refleja la proporción en la que

Creemos que la razón de haber podido comprobar este efecto es debido a que en el análisis de savia sólo determinamos los cationes que se encuentran en los tejidos conductores de tallos y peciolas y que además se encuentran en la misma forma en la que han sido absorbidos por la raíz. Eliminamos de esta forma la segunda dificultad que citan Crooke y Knight. Puede que el tipo de planta elegida, con una capacidad de cambio de raíces muy alta, haya sido un factor muy importante para esta comprobación que hemos realizado

CONCENTRACION DE CLORUROS EN LA SAVIA

Los valores de la concentración de cloruros hallados en estas experiencias se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 43

Experiencia Humedad-Nitrógeno

Concentración de  $\text{Cl}^-$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION NITROGENADA			
		$\text{N}_0$	$\text{N}_1$	$\text{N}_2$	$\text{N}$
Arenoso-Pequeño	Bajo	1.200	700	660	840
	Normal	1.500	800	690	690
	Alto	1.500	960	840	600
Arcilloso-Pequeño	Bajo	2.630	3.000	2.650	
	Normal	2.290	2.500	2.300	
	Alto	1.990	1.130	860	
Arcilloso-Grande	Bajo	1.020	1.020	1.220	
	Normal	810	920	870	
	Alto	330	380	320	

Se aprecia en estas experiencias un efecto diferente de la humedad, según sea el tipo de suelo. Así encontramos que en el suelo arenoso la concentración de cloruros aumenta a medida que lo hace el nivel hídrico del suelo. No obstante en el nivel  $\text{N}_3$  de fertilización se presenta la tendencia contraria, es decir la concentración disminuye a medida que la humedad aumenta; esta misma inversión presentaban el  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ . La explicación dada para el  $\text{K}^+$  explica este comportamiento del cloruro (véase pág. 144).

En la experiencia con suelo arcilloso se presenta la tendencia opuesta pues se observa como la concentración disminuye a medida que la humedad aumenta.

El efecto de la fertilización nitrogenada se aprecia, en toda la experiencia con suelo arenoso y en el nivel Alto de humedad de la realizada con suelo arcilloso y tiesto pequeño,

aumentar la fertilización nitrogenada.

La explicación de este comportamiento se encuentra en las variaciones que experimenta la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia, con la fertilización nitrogenada, (véase cuadro nº 23, pág. 109). Púés se aprecia, que es precisamente en estos tratamientos, donde la fertilización nitrogenada es capaz de elevar la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , pudiendo decir que la concentración de  $\text{Cl}^-$  en la savia disminuye cuando la de  $\text{NO}_3^-$  aumenta.

Los tratamientos restantes, experiencia con tiestos grandes y niveles Bajo y Normal de las realizadas con los tiestos pequeños y suelo arcilloso, no presentan variaciones apreciables de la concentración de  $\text{Cl}^-$  con la fertilización nitrogenada. Si examinamos la de  $\text{NO}_3^-$  encontramos un comportamiento análogo, púés tampoco varía mucho la concentración de este ión con la fertilización nitrogenada.

Se presenta púés una especie de complementariedad N/Cl en la absorción y creemos que esta influencia de un elemento sobre el otro sirve para mantener el equilibrio aniónico en la sava, púés podemos observar que sólo disminuye la concentración del  $\text{Cl}^-$  cuando la de los  $\text{NO}_3^-$  aumenta. Si estos permanecen constantes la concentración de  $\text{Cl}^-$  no varía.

Se observa que en la experiencia de los tiestos grandes la concentración de  $\text{Cl}^-$  es mucho menor que la observada para los pequeños, siendo el mismo tipo de suelo. La causa de esta disminución se puede buscar en la complementariedad N/Cl; púés la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en esta experiencia con tiestos grandes, es mucho mayor que la observada en los tiestos pequeños.

Esta complementariedad es citada como antagonismo por Routchenko y Cadahía (124) en las plantas de tomate y por Pettin-

Ahora bien teniendo en cuenta que los aumentos de  $\text{Cl}^-$  en la savia están en relación con la dificultad de absorber  $\text{NO}_3^-$ , se comprende que nosotros le llamemos complementariedad y no antagonismo, pues en este caso cada elemento actuaría como reductor de la absorción del otro y ésto no pasa en la práctica.



Los valores de la concentración de cloruros hallados en estas experiencias se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO Nº 44**

**Experiencia Fósforo-Humedad**

**Concentración de  $\text{Cl}^-$  en mg/l de savia**

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA			
		$\text{P}_0$	$\text{P}_1$	$\text{P}_0$	$\text{P}_1$
Arenoso-Pequeño	Bajo	600	530	450	600
	Normal	750	450	700	475
	Alto	1.500	1.000	1.100	1.300
Arcilloso-Pequeño	Bajo	2.530	2.660	2.425	
	Normal	2.690	2.500	2.500	
	Alto	2.040	2.040	2.350	
Arcilloso-Grande	Bajo	2.720	3.030	3.050	
	Normal	2.030	2.130	2.030	
	Alto	1.330	1.380	1.060	

El efecto de la humedad en la concentración de cloruros en esta experiencia es el mismo que hemos observado en la experiencia anterior, en la que estudiábamos dicha concentración en función de la fertilización nitrogenada y de la humedad del suelo.

Hay que destacar que en los tiestos pequeños del suelo arcilloso, las diferencias de concentración para los distintos niveles de humedad son pequeñas, mientras que con los tiestos grandes, se presentan unas diferencias mucho mayores. Esta semejante concentración en los tres niveles de humedad de los tiestos pequeños se explica por la gran disminución que experimenta la concentración de  $\text{NO}_3^-$  al elevarse el nivel de humedad, (véase cuadro nº 23), y que indirectamente hace elevar la concentración de  $\text{Cl}^-$  por efecto de complementariedad, apareciendo así una concentración semejante en los tres niveles de humedad.

fatada sobre la concentración de cloruros en la savia, aún cuando esta fertilización produzca variaciones en la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , caso de la experiencia con suelo arenoso y del nivel Alto de la experiencia con suelo arcilloso y tiesto pequeño, y que podría conducir a un aumento en la concentración de cloruros, según habíamos visto en las experiencias anteriores.

El hecho de que la concentración de  $\text{Cl}^-$  no varíe, nos parece indicar que el papel de este anión en la planta es el de mantener un equilibrio aniónico en la savia. Aumentando de concentración cuando los nitratos disminuyen, pero si esta disminución es provocada por un aumento de los iones fosfato no se producen variaciones en la concentración de este haluro.

## RIENCIAS POTASIO-HUMEDAD

Los valores de la concentración de  $\text{Cl}^-$  hallados en estas experiencias se exponen en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 45

### Experiencia Potasio-Humedad

Concentración de  $\text{Cl}^-$  en mg/l de savia

Tipos de Suelos y Tiestos	Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION POTASICA			
		K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Arenoso-Pequeño	Bajo	620	700	800	800
	Normal	530	570	890	700
	Alto	1.210	790	1.600	1.200
Arcilloso-Pequeño	Bajo	1.200	2.400	2.570	
	Normal	990	1.890	1.630	
	Alto	990	1.750	1.840	
Arcilloso-Grande	Bajo	1.730	2.150	2.200	
	Normal	1.210	1.700	1.570	
	Alto	1.230	1.740	1.250	

El efecto de la humedad en la concentración de  $\text{Cl}^-$  en la savia es el mismo que se ha venido observando a lo largo de las experiencias anteriores, es decir, que en el suelo arenoso la humedad hace elevar la concentración presentándose en el nivel Alto la máxima concentración, mientras que en el arcilloso se presenta la tendencia opuesta y la concentración disminuye al aumentar la humedad del suelo, aún cuando se presentan excepciones principalmente entre los niveles Normal y Alto.

En el suelo arenoso no se aprecia efecto alguno de la fertilización potásica en la concentración de cloruros. No obstante y como era de esperar, en el suelo arcilloso se observa un pro-

potásica, dado que en este suelo se fertilizó con ClK. Sin embargo no se aprecian grandes aumentos entre el nivel  $K_1$  y  $K_2$  de fertilización; sobre todo en tiestos grandes. La explicación a este comportamiento se encuentra en la observación del cuadro nº 25 en el que se aprecia como la concentración de  $NO_3^-$  es más alta cuando la experiencia se realiza con tiestos grandes que cuando se hace con pequeños, y por tanto en los primeros la absorción de  $Cl^-$  está más impedida por efecto de la complementariedad,  $Cl^-/NO_3^-$ , que en los pequeños. De ahí que, la concentración de  $Cl^-$  casi no varía entre  $K_1$  y  $K_2$  para los tiestos grandes y aumenta para los pequeños.

Se comentan a continuación las concentraciones de cloruros obtenidas en la experiencia factorial con suelo arcilloso; no tenemos los valores correspondientes al suelo arenoso por lo que sólo expresamos en el cuadro siguiente los valores que nos dió el suelo arcilloso:

CUADRO N° 46

Experiencia Factorial (suelo arcilloso)

Concentración de  $\text{Cl}^-$  en mg/l de savia

Nivel de humedad	NIVELES DE FERTILIZACION							
	$\text{N}_0$				$\text{N}_1$			
	$\text{P}_0$		$\text{P}_1$		$\text{P}_0$		$\text{P}_1$	
	$\text{K}_0$	$\text{K}_1$	$\text{K}_0$	$\text{K}_1$	$\text{K}_0$	$\text{K}_1$	$\text{K}_0$	$\text{K}_1$
Bajo	2950	2900	2700	2850	2200	2400	2300	2000
Normal	2300	2650	2450	2700	1800	1450	1550	1410
Alto	2750	2750	2000	2500	1400	1280	1560	1100

El efecto de la humedad en la concentración de este anión, es el mismo que hemos observado para el K y Ca en esta experiencia; es decir, que la concentración de  $\text{Cl}^-$  disminuye al aumentar la humedad del suelo, presentándose la máxima concentración en el nivel Bajo y la mínima en el Alto. Esta tendencia deja de cumplirse en el tratamiento  $\text{N}_0\text{P}_0$  en el que se puede observar que la concentración para el nivel Alto es superior a la del Normal, excepción que también se presenta en los nutrientes catiónicos Ca y K, para este mismo tratamiento.

da se aprecia la misma tendencia que ya observábamos en las experiencias Humedad-Nitrógeno; es decir, que la concentración disminuye con la fertilización, ya que nuevamente se nos presenta aquí el efecto  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ . En el cuadro adjunto se puede apreciar esta tendencia, pues la concentración en el nivel  $\text{N}_0$  es muy superior a la que presenta en el nivel  $\text{N}_1$ .

Las variaciones producidas por los fertilizantes fosfatados y potásicos son poco apreciables, aunque se puede observar que generalmente en los niveles  $\text{P}_0$  se presenta una concentración mayor que en los  $\text{P}_1$ . Mientras que para las distintas dosis de K sólo se observan variaciones en el tratamiento  $\text{N}_0\text{P}_1$  en el que se aprecia como la concentración en el nivel  $\text{K}_0$  es inferior a la del  $\text{K}_1$ .

En toda la literatura revisada para estudiar la concentración de cloruros en la planta, sólo encontramos tres trabajos que nos señalan el efecto que pudiera tener la humedad del suelo en la concentración de este anión en la planta (85) (46) (72). Señalándonos estos tres autores que la concentración se eleva a medida que la tensión de humedad del suelo aumenta.

En nuestras experiencias realizadas con suelo arcilloso se observe este mismo comportamiento. No obstante el hecho de que se presente para este anión el mismo efecto que ya anteriormente habíamos observado para el potasio y que las excepciones que se presentan son las mismas: algunos tratamientos de la experiencia Humedad-Potasio y el nivel  $N_0P_0$  de la experiencia factorial en los que la concentración en el nivel Alto llegan a superar a las del Normal, nos hace suponer que es el mismo efecto de dilución, que antes gobernaba al potasio, el que ahora regula la concentración de cloruros en la savia, y cuyo razonamiento ya expusimos en la pág. 144.

En las experiencias con suelo arenoso se observa la tendencia contraria a la observada en las realizadas con el arcilloso, es decir, que la concentración aumenta con la humedad. También aquí se observa un paralelismo entre las variaciones de la concentración de potasio y de cloruros con la humedad, pudiéndose aplicar, para explicar este comportamiento, el mismo razonamiento que ya exponíamos al discutir el nutriente catiónico.

# **A N A L I S I S   D E   S U E L O S**



Se exponen a continuación los análisis de muestras de suelos tomados al final de cada experiencia y en cada uno de los tratamientos de Humeda-Fertilización.

Solo estudiamos los valores del pH medido en agua, y los contenidos de  $K_2O$  y  $P_2O_5$  en mg/100 grs. de suelo. Se han realizado otras determinaciones, pero las variaciones que experimentan con los distintos tratamientos son tan pequeñas que su estudio carece de interés. En líneas generales los valores de materia orgánica, nitrógeno total y carbonatos oscilan poco alrededor de los siguientes valores medios.

Tipos de suelos	Materia orgánica %	C %	N %	$CO_3^{=}$ %
Arcilloso	1,40	0,84	0,88	42,0
Arenoso	0,52	0,30	0,30	-

Con relación a las otras determinaciones existen variaciones apreciables con los distintos niveles de humedad y fertilización, y que pasamos a estudiar a continuación.

## LO ARCILLOSO

Se exponen a continuación los análisis de muestras de suelo tomadas al final de estas experiencias. Estudiamos en primer lugar los resultados encontrados en la experiencia con tiestos pequeños y cuyos valores expresamos en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 47

### Análisis de Suelo

#### Experiencia Nitrógeno-Humedad

#### Suelo arcilloso-Tiestos pequeños

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media		
	Bajo			Normal			Alto					
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O N <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	7,8	11	25	7,7	14	19	7,9	13	17	7,8	13	20
	7,6	12	27	7,7	11	21	7,6	12	19	7,6	12	21
	7,9	10	24	7,6	11	20	7,7	11	18	7,7	11	21
Media	7,8	11	25	7,7	12	20	7,7	12	18			

Se aprecia en estos valores que la fertilización nitrogenada no afecta al pH ni al contenido de K<sub>2</sub>O en el suelo. No obstante puede observarse que la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disminuye ligeramente a medida que el nitrógeno en el suelo aumenta.

Las variaciones debidas a la humedad son distintas, pues se aprecia que mientras el contenido de K<sub>2</sub>O disminuye con la humedad del suelo, los valores del pH y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no son afectados.

Estudiamos a continuación los análisis de la experiencia con tiestos grandes y cuyos resultados exponemos en el siguiente cuadro:

# Análisis de Suelo

## Experiencia Nitrógeno-Humedad

Suelo arcilloso-Tiempo grande

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media		
	Bajo			Normal			Alto					
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>0</sub>	7,3	11	27	7,3	13	26	7,3	12	26	7,3	12	26
N <sub>1</sub>	7,4	12	27	7,4	11	26	7,3	11	25	7,3	11	26
N <sub>2</sub>	7,4	11	28	7,3	11	27	7,3	11	27	7,3	11	27
Media	7,37	11,3	27,3	7,33	11,6	26,6	7,30	11,3	26			

Se puede apreciar en esta experiencia que los niveles de fertilización y la frecuencia de los riegos no afectan al pH ni a los contenidos de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el suelo, pues no se observan variaciones apreciables entre los distintos tratamientos.

La causa de que el pH no experimente variación alguna con los tratamientos se explica dado el elevado poder tampón que tiene este suelo, ya que su capacidad de cambio catiónico es bastante alta (24,7 mg/100 gr.). Igualmente el que no varíen los contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O pudiera ser debido a la elevada fertilidad que tiene este suelo, y en el que los distintos rendimientos de producción que se obtienen no son capaces de producir variaciones en la capacidad de suministro de estos dos nutrientes.

Si se comparan los valores de K<sub>2</sub>O en esta experiencia y la que nos da la anterior, se aprecia que los contenidos de ésta son mucho mayores que en aquella otra realizada con tiestos pequeños, la causa de esta diferencia se explica porque al desarrollarse la planta en mayor cantidad de suelo la extracción de nutrientes por unidad de peso es mucho mayor.

## ARENOSO Y TIESTO PEQUEÑO

Se exponen a continuación los análisis de suelo para esta experiencia y cuyos valores se expresan en el siguiente cuadro:

### CUADRO N° 49

#### Análisis de Suelo

#### Experiencia Nitrógeno-Humedad

#### Suelo arenoso-Tiesto pequeño

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media		
	Bajo			Normal			Alto					
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>0</sub>	6,1	5	9	6,1	5	10	6,3	5	11	6,1	5,0	10
N <sub>1</sub>	6,0	5	9	6,0	5	9	6,2	4	9	6,0	4,7	9
N <sub>2</sub>	6,0	4	9	6,0	4	9	6,1	3	9	6,0	3,7	9
N <sub>3</sub>	5,8	4	8	6,0	5	7	6,0	3	6	5,9	4,0	7
Media	5,9	4,5	8,7	6,1	3,7	8,7	6,1	3,7	8,7			

Se puede observar como los contenidos de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> son muy poco afectados por la humedad; aunque se aprecia que la concentración de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disminuye ligeramente al pasar del nivel. Bajo al Alto. Respecto al pH, sólo parece apreciarse un ligero aumento al elevarse el nivel hídrico.

El efecto de la fertilización nitrogenada es más señalado que el de la humedad, pues se observa que afecta al valor del pH y a los contenidos de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La disminución de K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que se produce en el suelo al elevarse el nivel de fertilización se explica por el incremento que sufre la producción, haciendo que la absorción total de estos dos nutrientes por la planta sea mucho mayor y que

en este caso.

El pH experimenta una disminución al elevarse la fertilización; este incremento de la acidez se podría explicar por la mayor absorción total de cationes que tiene lugar en estas condiciones de elevada producción vegetal, y que da lugar a que en el suelo disminuya la proporción de nutrientes catiónicos aumentando la de los iones  $H^+$ .

## ARCILLOSO

Exponemos a continuación los resultados del análisis de suelo de las experiencias Humedad-Fósforo con suelo arcilloso. En primer lugar estudiaremos los valores de la experiencia con tics-  
tos pequeños y que exponemos en el cuadro siguiente:

### CUADRO N° 50

#### Análisis de Suelo

#### Experiencia Humedad-Fósforo

#### Suelo arcilloso-Tiesto pequeño

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media		
	Bajo			Normal			Alto					
—	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
P <sub>0</sub>	7,6	9	23	7,6	7	20	7,6	8	20	7,6	8,0	21
P <sub>1</sub>	7,6	9	23	7,6	10	20	7,8	10	19	7,6	9,7	21
P <sub>2</sub>	7,3	13	23	7,5	10	20	7,7	10	18	7,5	11,0	20,3
Media	7,5	10,3	23	7,6	9,0	20	7,7	9,3	19			

Parece apreciarse, según los valores medios obtenidos, que el pH tiende a elevarse al aumentar el nivel hídrico, aunque en realidad esta tendencia sólo se observa para el tratamiento P<sub>2</sub> de fertilización; pudiendo decir que los niveles altos de fertilización fosfatada favorecen la capacidad de la humedad del suelo en disminuir la acidez del mismo.

No se observa efecto alguno de la humedad en el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el suelo y para el K<sub>2</sub>O se sigue observando la tendencia ya observada en las experiencias anteriores, o sea que su concentración disminuye a medida que la humedad aumenta, y que se explica por el aumento que experimenta la producción al elevarse el nivel hídrico.

de  $K_2O$  disminuye a medida que la fertilización aumenta, tendencia que no se observa en los restantes niveles hídricos. La explicación a este comportamiento la encontramos en la producción vegetal, pues sólo al aumentar la dosis de fertilización fosfatada (véase cuadro N° 11).

En cuanto a la influencia de la fertilización en el pH del suelo podemos observar que no influye en su valor; mientras que para el  $P_2O_5$  se encuentra la tendencia esperada: aumenta con la fertilización.

Estudiamos a continuación los análisis realizados con el suelo de los tiestos grandes, los resultados se exponen en el siguiente cuadro:

#### CUADRO N° 51

##### Análisis de Suelo

##### Experiencias Humedad-Fósforo

##### Suelo arcilloso-Tiesto grande

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media
	Bajo			Normal			Alto			
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O
P <sub>0</sub>	7,4	8	24	7,4	7	22	7,7	7	19	7,5 7,3 22
P <sub>1</sub>	7,5	9	23	7,6	7	19	7,5	7	19	7,5 7,6 20
P <sub>2</sub>	7,5	10	25	7,5	8	20	7,6	7	18	7,5 8,3 21
Media	7,5	9,0	24	7,5	7,3	20,3	7,6	7,0	18,7	

Se puede apreciar en esta experiencia que los contenidos de  $K_2O$  y  $P_2O_5$  tienden a disminuir a medida que la humedad del suelo aumenta, por el contrario los valores del pH no se ven afectados.

La influencia de la fertilización fosfatada en el contenido de  $P_2O_5$  en el suelo es muy pequeño, observándose solamente un ligero incremento al pasar de  $P_0$  a  $P_2$ , y que se explica debido a la fijación de este anión por el suelo. No apreciándose variaciones del pH ni del  $K_2O$  con las dosis de fertilización.



## ARENOSO Y TIESTO PEQUEÑO

Se exponen a continuación los resultados de los análisis de suelo para esta experiencia y cuyos valores expresamos en el siguiente cuadro.

### CUADRO Nº 52

#### Análisis de Suelo

Experiencia Humedad-Fósforo

Suelo arenoso-Tiesto pequeño

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media
	Bajo			Normal			Alto			
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O
P <sub>0</sub>	6,2	1	12	6,4	1	11	6,9	0	12	6,5 0,7 12
P <sub>1</sub>	5,3	2	11	6,4	2	9	6,3	1	9	6,0 1,7 9
P <sub>2</sub>	6,0	3	10	6,1	3	8	7,0	2	8	6,4 2,7 9
P <sub>3</sub>	5,3	4	10	5,0	4	8	6,6	5	8	5,6 4,3 9
Media	5,7	2,5	11	6,0	2,5	9	6,7	2,0	9	

Dada la pobreza de este suelo en P, se explica que las variaciones que produce la humedad en su contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sean insignificantes, sin poderse apreciar tendencia definida alguna.

En cuanto al contenido en K<sub>2</sub>O se aprecia la misma tendencia que hemos observado en las anteriores experiencias, es decir que disminuye su valor a medida que el valor hídrico aumenta. También para el pH se sigue observando la misma variación, pues se aprecia que su valor aumenta al pasar del nivel Bajo al Alto. La discusión de estas variaciones las haremos al final de este capítulo.

en la elevación que produce en el contenido de  $P_2O_5$  en el suelo, pasando de 0,7 mg/100 de suelo para el nivel  $P_0$  a 4,3 para el  $P_3$ . En cuanto a las variaciones de  $K_2O$  se observa que la fertilización produce una gran disminución al pasar de  $P_0$  a  $P_1$ , pero a partir de este nivel los valores observados son muy parecidos; creemos encontrar la explicación a este comportamiento en el incremento que experimenta la producción al pasar de  $P_0$  a  $P_1$ , para luego obtenerse unos rendimientos semejantes con las distintas dosis de fertilización fosfatada y que se traduce en una baja absorción de  $K_2O$  para el nivel  $P_0$  y unas más altas en los restantes niveles de  $P$ , (véase cuadro de rendimientos nº 13).

La influencia de la fertilización en el pH es menos clara y sólo en el nivel Normal de Humedad se aprecia una ligera tendencia definida alguna.

## ARCILLOSO

Estudiamos a continuación los análisis del suelo de las experiencias Humedad-Potasio con suelo arcilloso. En el siguiente cuadro exponemos los resultados de los análisis de la experiencia con tiestos pequeños.

### CUADRO N° 53

#### Análisis de Suelo

#### Experiencia Potasio-Humedad

#### Suelo arcilloso-Tiesto pequeño

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad									Media
	Bajo			Normal			Alto			
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O
K <sub>0</sub>	7,7	10	11	7,7	9	10	7,7	9	10	7,7 9,3 10,3
K <sub>1</sub>	7,8	9	13	7,7	8	12	7,7	8	11	7,7 8,3 12,0
K <sub>2</sub>	7,7	9	16	7,6	9	16	7,7	9	15	7,7 9,0 15,6
Media	7,7	9,3	13,3	7,7	8,6	12				

En esta experiencia, y a excepción del lógico incremento del contenido de K<sub>2</sub>O al aumentar la fertilización, no se observan variaciones apreciables del pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, para los distintos tratamientos de humedad y fertilización.

La explicación de este comportamiento podemos encontrarla en las pequeñas variaciones de producción vegetal que se observan entre los tratamientos estudiados, (véase cuadro n° 14) de aquí que las exportaciones de nutrientes sea aproximadamente la misma en los distintos tratamientos y no existan variaciones apreciables en el suelo.

cia con tiestos grandes y cuyos resultados se exponen en el siguiente cuadro:

**CUADRO N° 54**

**Análisis de Suelo**

**Experiencia Potasio-Humedad**

**Suelo arcilloso-Tiesto grande**

Nivel de fertilización	Nivel de humedad											
	Bajo			Normal								
K <sub>0</sub> K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	7,7	9	12	7,7	8	11	7,7	8	11	7,7	8,3	11,3
	7,7	9	14	7,7	9	13	7,7	8	12	7,7	8,6	13,0
	7,7	8	19	7,7	8	18	7,6	8	18	7,7	8,0	18,3
Media	7,7	8,6	15,0	7,7	8,3	14	7,7	8	13,7			

Lo mismo que en la anterior, no se aprecian en esta experiencia efectos apreciables de la humedad y fertilización en los valores del pH y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el suelo.

Por el contrario, parece observarse una ligera disminución del contenido de K<sub>2</sub>O a medida que la humedad aumenta, y que se explica dado el incremento que experimenta la producción, (véase cuadro N° 15) al elevarse el nivel hídrico del suelo. El efecto de la fertilización en el contenido de este nutriente es el esperado, pues se aprecia como se eleva el contenido de K<sub>2</sub>O en el suelo, al pasar del nivel K<sub>0</sub> al K<sub>1</sub> y de éste al K<sub>2</sub>.

Se sigue observando como en las otras experiencias el contenido de potasa es mayor en el suelo de los tiestos grandes que en el de los pequeños y cuya explicación ya dimos al estudiar las experiencias Nitrógeno-Humedad.

**ARENOSO Y TIESTO PEQUEÑO**

Estudiamos a continuación los análisis de suelo realizados al final de esta experiencia y cuyos valores se expresan en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 55**  
**Análisis de Suelo**  
**Experiencia Potasio-Humedad**  
**Suelo arenoso-Tiesto pequeño**

Nivel de fertilización	Nivel de Humedad			Media
	Bajo	Normal	Alto	
	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	pH P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O
K <sub>0</sub>	6,0 4 6	6,1 3 5	6,1 3 5	6,1 3,3 5,3
K <sub>1</sub>	6,1 4 4	6,1 4 7	6,2 4 6	6,1 4,0 5,6
K <sub>2</sub>	6,0 4 8	5,9 4 7	6,1 3 8	6,0 3,6 7,6
K <sub>3</sub>	5,6 3 9	5,4 3 9	6,0 3 8	5,7 3,0 8,6
Media	5,9 3,7 7	5,6 3,5 7	6,1 3,2 7	

En esta experiencia lo mismo que en las realizadas con suelo arcilloso, no se aprecia efecto alguno de los tratamientos de humedad y fertilización en los valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y pH; esto ocurre está, a excepción del incremento que experimenta el contenido de K<sub>2</sub>O al aumentar la dosis de fertilizantes potásicos.

La explicación a este comportamiento la encontramos en la igualdad de rendimientos que se obtienen para los distintos tratamientos de humedad y fertilización, (Véase el cuadro de producción n° 16) y que se traduce en una extracción similar de nutrientes en todos los tratamientos. No obstante parece apreciarse que el valor del pH, sobre todo en los niveles Bajo y Normal, tiende a disminuir a medida que la fertilización aumenta y que pudiera ser debida al cambio iónico entre el K del fertilizante y el H del complejo arcilloso-húmico que hace incrementar la concentración de H<sup>+</sup> en la solución del suelo.

Con objeto de presentar de una forma mas clara los resultados analíticos de los suelos, se hace el estudio por separado para cada una de las tres determinaciones que venimos estudiando.

Estudiamos en primer lugar las variaciones producidas en el pH.

Valores de pH en los análisis de suelo de las experiencias factoriales.

Los valores encontrados para el pH en estas experiencias se exponen en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 56  
Valores de pH  
Experiencias factoriales

Nivel de humedad	<div><div><div><math>N_0</math></div><div>Suelo arenoso</div><div><math>N_1</math></div></div></div>								Valor medio
	<div><div><math>P_0</math></div></div>		<div><div><math>P_1</math></div></div>		<div><div><math>P_0</math></div></div>		<div><div><math>P_1</math></div></div>		
	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	
Bajo	7,3	7,3	7,1	7,0	6,5	6,4	6,5	6,0	6,7
Normal	7,4	7,4	7,2	7,1	6,6	6,7	6,6	6,5	6,9
Alto	7,4	7,4	7,2	7,3	6,7	6,6	6,7	6,7	7,0

	<div><div><div><math>N_0</math></div><div>Suelo arcilloso</div><div><math>N_1</math></div></div></div>								
	<div><div><math>P_0</math></div></div>		<div><div><math>P_1</math></div></div>		<div><div><math>P_0</math></div></div>		<div><div><math>P_1</math></div></div>		
	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	<div><math>K_0</math></div>	<div><math>K_1</math></div>	
Bajo	7,7	7,7	7,6	7,7	7,6	7,5	7,5	7,7	7,6
Normal	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5
Alto	7,7	7,7	7,8	7,7	7,8	7,7	7,7	7,6	7,7

En el suelo arenoso se observa de una forma más o menos regular que el valor del pH tiende a aumentar a medida que el nivel hídrico aumenta, apreciándose además que estas variaciones son mayores en el nivel N<sub>1</sub> de fertilización que en el N<sub>0</sub>. Por el contrario en el suelo arcilloso esta tendencia no es tan firme, pudiéndose decir que las variaciones producidas no son significativas.

señaladas en el suelo arenoso mientras que en el arcilloso apenas tienen influencia. Se aprecia que en el suelo arenoso la fertilización nitrogenada tiende a disminuir el valor del pH; este aumento de la acidez con la fertilización nitrogenada se pone de manifiesto en la comparación de los valores medios del pH obtenido en cada tratamiento; así tenemos que el valor medio para el tratamiento  $N_0$  es de 7,3 mientras que en el  $N_1$  es de 6,6. El aumento de la acidez con la fertilización nitrogenada es pues manifiesto.

El efecto de la fertilización fosfatada, aunque menos intenso que el de la nitrogenada, es también apreciable observándose solamente en el suelo arenoso y se pone de manifiesto por una ligera disminución en los valores de pH al aumentar la dosis de P aplicado al suelo. Así tenemos que en este suelo arenoso el pH medio para el nivel  $P_0$  es de 7,0 mientras que en el  $P_1$  es de 6,8.

Para la fertilización potásica no se aprecia efecto alguno, aunque parece que hace disminuir el valor del pH cuando se encuentra en un tratamiento rico en N y P como el tratamiento  $N_1P_1$  del suelo arenoso.

Este aumento de la acidez del suelo con la fertilización nitrogenada o fosfatada está de acuerdo con el aumento de producción vegetal que se experimenta al elevar el nivel de fertilización, (véase cuadro de rendimientos nº 21). Lo mismo se observa para el tratamiento  $N_1P_1$  en el que la producción aumenta cuando el nivel de fertilización potásica pasa de  $K_0$  a  $K_1$ , observando al mismo tiempo que el valor del pH pasa de 6,6 para el tratamiento  $N_1P_1K_0$  a 6,4 para el  $N_1P_1K_1$ .

Vemos pues como existe una relación lineal entre la producción vegetal obtenida y la acidez del suelo.

Creemos explicar este comportamiento por la mayor absorción total de cationes que tiene lugar en estas condiciones de elevada producción y que da lugar a que en el suelo disminuya la proporción de nutrientes catiónicos, aumentando la de iones  $H_4^+$ .

en su acidez con la fertilización o con la producción vegetal, pues entre ambos existe una relación lineal (véase cuadro nº 18) se explica por la elevada capacidad de cambio de este suelo que actúa como tampón haciendo que las variaciones del pH sean despreciables.

#### Contenido de $K_2O$ en el suelo de las experiencias factoriales

Los valores de  $K_2O$  hallados en las muestras de suelo de las experiencias factoriales se exponen a continuación.

CUADRO Nº 57  
Análisis de Suelo  
Experiencias Factoriales  
Contenidos de  $K_2O$  en mg/100 grs. de suelo

Nivel de humedad	Suelo arenoso								Valor medio
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>				
	P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	
Bajo	7	8	6	8	5	6	4	5	6,1
Normal	6	7	6	8	4	5	4	4	5,5
Alto	6	7	6	7	4	4	3	4	5,1

	Suelo arcilloso								
	N <sub>0</sub>				N <sub>1</sub>				
	K	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>		P <sub>0</sub>		P <sub>1</sub>		
	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	
Bajo	11	16	11	15	10	14	11	12	12,2
Normal	11	15	11	14	10	12	10	11	11,7
Alto	11	14	11	12	10	10	9	11	11,0

Tanto en el suelo arenoso como en el arcilloso se puede apreciar que el contenido de  $K_2O$  disminuye a medida que el nivel hídrico del suelo aumenta. Los valores medios de  $K_2O$  para los tres niveles de humedad nos muestran claramente esta tendencia, aún cuando se observe con mayor regularidad en los niveles K<sub>1</sub> de fertilización, posiblemente porque en el nivel K<sub>0</sub> se ha



suelo.

La influencia de la fertilización nitrogenada es la misma en los dos tipos de suelo y se aprecia por la disminución que experimenta el contenido de  $K_2O$  al elevarse la fertilización. Así encontramos que en el suelo arenoso el valor medio para el nivel  $N_0$  es de 7 mg/100 gr. de suelo, mientras que para el  $N_1$  es de 4. En el suelo arcilloso, más rico en potasa, el valor medio para el nivel  $N_0$  es de 12,8 mientras que para  $N_1$  es de 11; vemos pues el marcado efecto depresivo que tiene la fertilización nitrogenada en el contenido de  $K_2O$  en el suelo, y que se explica por el aumento que experimenta la producción con esta fertilización.

El efecto del P es menos claro que el del nitrógeno, pero sí se puede apreciar que en líneas generales hace disminuir el contenido de  $K_2O$  en el suelo, especialmente cuando el nivel de fertilización potásica es el  $K_1$ , pero no en el  $K_0$ , posiblemente por la misma razón que exponíamos anteriormente.

La influencia de la fertilización potásica es la que se podría esperar, pues hace elevar el contenido de  $K_2O$  en el suelo; no obstante se puede apreciar que este efecto disminuye a medida que la fertilización nitrogenada y fosfatada aumenta y así encontramos que en el nivel  $N_1P_1$  del suelo arenoso apenas hay diferencias entre las dosis  $K_0$  y  $K_1$  de fertilización; algo semejante ocurre en el nivel  $N_1P_1$  del arcilloso, donde las diferencias entre  $K_0$  y  $K_1$  son pequeñas.

La explicación de este comportamiento la encontramos en la producción vegetal obtenida en estas experiencias; pues se observa, véase cuadros nº 18 y 21, que es precisamente en estos tratamientos  $N_1P_1$  donde se manifiesta de una forma más ostensible el efecto beneficioso de la fertilización potásica, lo que da lugar a una mayor extracción de este nutriente, y por tanto la diferencia de contenidos de  $K_2O$  entre los tratamientos  $K_0$  y  $K_1$  sean inapreciables.

Los contenidos de  $P_2O_5$  en las muestras de suelo de las experiencias factoriales, se exponen a continuación:

CUADRO N° 58

Experiencias Factoriales

Contenido de  $P_2O_5$  en mg/100 grs. de suelo

Nivel de humedad	<u>Suelo arenoso</u>								Valor medio
	$N_0$				$N_1$				
	$P_0$		$P_1$		$P_0$		$P_1$		
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	
Bajo	6	6	10	11	5	5	8	10	7,6
Normal	6	6	9	11	4	4	7	8	7,0
Alto	5	5	9	9	5	4	8	6	6,4

	<u>Suelo arcilloso</u>								
	$N_0$				$N_1$				
	$P_0$		$P_1$		$P_0$		$P_1$		
	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	$K_0$	$K_1$	
Bajo	7	6	7	9	6	6	10	11	7,7
Normal	6	7	8	9	6	6	9	11	7,7
Alto	7	7	9	9	5	5	9	9	7,7

El efecto del nivel hídrico, al que estuvo sometido el suelo, en el contenido de  $P_2O_5$  es pequeño; aunque sí se puede apreciar que en el suelo arenoso y en el nivel  $N_1$  del arcilloso, la concentración tiende a disminuir a medida que la humedad aumenta.

La influencia de los tratamientos de fertilización es prácticamente la misma que ya observábamos al estudiar el contenido de  $K_2O$ . Es decir, que la concentración de  $P_2O_5$  es menor en aquellos tratamientos en los que se ha obtenido una elevada producción y que se explica por la mayor absorción que tiene lugar

Así observamos que en el nivel  $N_1$  de fertilización de los dos suelos se presenta un menor contenido de  $P_2O_5$ . También se aprecia que el contenido en el tratamiento Alto- $N_1P_1K_1$  del suelo arenoso es menor que el del Alto- $N_1P_1K_0$  ya que la producción media en el primero era de 27,7 y en el segundo 23,8. Y así en muchos más casos, en los que la elevación de rendimiento da lugar a un menor contenido de  $P_2O_5$  en el suelo.

A lo largo de los análisis que hemos estudiado se ha podido comprobar el marcada efecto del nivel hídrico del suelo en la fertilización del mismo, al menos en las determinaciones que venimos estudiando.

Así encontramos que en el suelo arenoso el nivel de humedad tiene marcada influencia en la acidez del mismo; pudiéndose observar que al pH del suelo aumenta a medida que el nivel hídrico se eleva. Por el contrario en el suelo arcilloso con una elevada capacidad de cambio, y por lo tanto, con un gran poder amortiguador, los niveles de humedad no afectan al pH observándose una igual acidez en los distintos niveles de humedad.

Este aumento del pH con el nivel hídrico está de acuerdo con lo observado por varios investigadores (94) (99) y que suponemos sea debido a la mayor disolución de las sales del suelo al aumentar la humedad y que produce una disminución en la razón  $H^+$ /cationes metálicos, en la solución del suelo.

Las variaciones que experimenta el contenido de  $K_2O$  en el suelo al variar la humedad ofrecen una constancia más o menos regular; pues se aprecia que cuando la humedad es factor limitante fundamental, se produce un descenso en el contenido de  $K_2O$  en el suelo al elevarse el nivel hídrico, ya que la producción ha experimentado un notable aumento; por el contrario cuando la humedad no eleva mucho a la producción, caso de las experiencias con suelo arenoso, se encuentra un mismo valor de  $K_2O$  en el suelo para los tres niveles de humedad estudiados.

En cuanto a las variaciones del  $P_2O_5$ , según el nivel hídrico se presenta la misma tendencia que para el  $K_2O$ , aunque de una forma menos regular. Comportamiento que a primera vista pudiere parecer ilógico, dado que al elevarse el nivel hídrico del suelo aumenta la absorción total de P, pues tanto la produ-

ta aumenta con la humedad; dando lugar así a una extracción mucho mayor en el nivel Alto que en el Bajo, y por lo tanto era de esperar que el suelo del nivel Alto presente una menor contención de  $P_2O_5$  que el del Bajo

El hecho de que el contenido de  $P_2O_5$  en el suelo no disminuya de una forma tan regular, al elevar la frecuencia de los riegos, se explica como consecuencia del equilibrio entre las distintas formas del P en el suelo; pues al disminuir el fósforo en la solución del suelo debido a la extracción por la planta, tiene lugar un proceso de equilibrio con el retenido en el suelo por lo que nuevas formas pasan a la solución, manteniéndose así una casi igual concentración de P en la solución del suelo e independiente de la frecuencia de riegos dados al mismo. Por lo tanto <sup>no</sup> varía el fósforo asimilable.

Esta constancia del suelo arcilloso en su contenido en  $P_2O_5$  nos da a entender que tiene un potencial muy alto de liberación del P fijado, no produciéndose variaciones apreciables en su contenido aún después de varias experiencias. Por el contrario en el arenoso no hay fijación del fósforo y su contenido varía ampliamente con el cultivo y la fertilización fosfatada.

## **DISCUSSION GENERAL**

Varias son las funciones desempeñadas por el agua en el sistema suelo-planta y están íntimamente relacionadas. Sin embargo, para mayor comodidad sólo hemos considerado tres de estas funciones en nuestro estudio:

- A) - El agua como factor de crecimiento: Su aprovechamiento por las plantas según la fertilidad del suelo.
- B) - Como medio de transporte de los nutrientes a través de las plantas.
- C) - La influencia de los distintos niveles hídricos y de fertilización, en el contenido de nutrientes en el suelo al final del cultivo.

A) - En el primer apartado más que estudiar el efecto de la humedad en la producción vegetal, tema éste muy estudiado, aunque no por ello igualmente conocido (151), hemos hecho hincapié en las relaciones entre la humedad del suelo y la fertilidad del mismo.

En primer lugar se ha comprobado que el aprovechamiento de la humedad útil del suelo depende de su nivel de fertilidad. Dándose así por válidas las dos tendencias, que suscitaron por primera vez Hendrickson y Veihmeyer (148) sobre la respuesta de la planta a los dos distintos porcentajes de humedad útil. Y que nosotros explicamos teniendo en cuenta el estado de "superposición" o "solapamiento" entre los niveles de humedad y fertilidad del suelo.

genados y la humedad del suelo, observamos un comportamiento análogo al encontrado por la mayoría de los investigadores que estudian este aspecto de la producción (132) (78) (4) y es el de que la fertilización nitrogenada eleva la eficiencia del agua, sea cual sea el nivel hídrico del suelo. Ello nos hace suponer que la nutrición nitrogenada de la planta no está limitada por una humedad deficiente, aspecto que comprobamos al estudiar la concentración de nitratos en la savia.

Si bien entre la fertilización nitrogenada y la humedad del suelo se presentan generalmente estados de "superposición" o "solapamiento", pues la producción aumenta al elevarse el contenido de cualquiera de los dos en el suelo, no podemos decir lo mismo de la fertilización fosfatada, pues sólo se producen incrementos de la producción con los distintos niveles de P cuando la humedad del suelo es elevada. A excepción claro está, si se trata de un suelo extremadamente deficiente en este elemento.

Este comportamiento de la planta a la fertilización fosfatada nos hace suponer que la absorción de este elemento es muy limitada en condiciones de deficiencia de humedad. Aspecto éste que comprobamos al estudiar la concentración de  $P_2O_5$  en la savia, pues observamos que dicha concentración disminuye, al contrario que los  $NO_3^-$ , a medida que la tensión humedad del suelo aumenta. Lo que creemos debido a que en el estado de frecuente saturación en el que se presenta la solución del suelo respecto a los iones fosfato un aumento de volumen de la solución del suelo lleva consigo una mayor disponibilidad de los fosfatos por las raíces de la planta.

El efecto de la fertilización potásica en la reducción de las pérdidas de agua por transpiración son citados continuamente en la bibliografía (7) (17). No obstante, en nuestro estudio no encontramos efecto alguno de este elemento en la evapotranspiración.



En cuanto al efecto del potasio y su relación con la humedad en la producción no se observa una tendencia tan definida como las del Nitrógeno o Fósforo. Tendencia ésta que era de esperar dada la poca influencia del potasio en la producción de la lechuga (50).

En líneas generales se aprecia que la respuesta de la planta a este elemento es más acentuada en el nivel Alto de humedad y en los tratamientos en los que ni el Nitrógeno ni el Fósforo presentan deficiencias.

La explicación a estos comportamientos creemos encontrarla en que en estos tratamientos la planta agota las reservas de potasio asimilable del suelo y entonces responde a la fertilización potásica.

B) - El estudio del agua como medio de transporte de los nutrientes a través de la planta lo hemos realizado mediante el análisis de savia, en la que medimos las concentraciones de los nutrientes:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{OH}^-$ .

Las variaciones que experimenta la concentración de los distintos nutrientes con la humedad del suelo, se presentan con una gran constancia a través de las distintas experiencias. Es de destacar que en los nutrientes plastificantes P y N es donde encontramos una mayor constancia en su comportamiento con la humedad, observándose en todas las experiencias que la concentración de  $\text{NO}_3^-$  aumenta con la tensión de humedad, mientras que la de  $\text{P}_2\text{O}_5$  disminuye. La explicación de estos comportamientos la encontramos en razonamientos edafológicos, pues hemos visto como al aumentar la humedad del suelo aumenta también la cantidad de fosfatos disponibles por la planta, mientras que la de los nitratos disminuye, pues el exceso de humedad en el suelo impide la nitrificación. A esta causa hay que añadir que el mayor desarrollo vegetativo de la planta hace que su savia se presente menos

Para los nutrientes  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  observamos un mismo comportamiento en cuanto a las variaciones que experimentan sus concentraciones al variar el contenido de humedad del suelo. Así encontramos que cuando la fertilidad del suelo no es muy baja, un aumento en la humedad lleva consigo una disminución en la concentración de estos nutrientes en la savia. Es decir, la humedad provoca un "efecto de dilución" en la concentración de estos elementos en la savia.

Por el contrario cuando la fertilidad del suelo es limitante las concentraciones de estos tres nutrientes aumentan con el nivel hídrico. En este último caso el pequeño aumento que experimenta la producción al elevarse el contenido de humedad del suelo, no es suficiente como para producir el "efecto de dilución" y la mayor absorción de nutrientes que tiene lugar en estas condiciones de elevada humedad hace que la concentración de los mismos en la savia aumenten. Corrobera esta hipótesis el hecho de que al aumentar la fertilidad las diferencias de concentración entre los distintos niveles de humedad van siendo menores hasta que cuando la fertilidad es alta se presenta el "efecto de dilución".

La relación entre los nutrientes cationes analizados  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  la hemos estudiado teniendo en cuenta el "efecto de valencia con la dilución" según el equilibrio Donnan. Tema éste que ha sido estudiado repetidamente por los especialistas en la materia llegando todos ellos a partir de consideraciones teóricas a que la razón  $\text{K}/\sqrt{\text{Ca}}$  en la planta debe disminuir a medida que la humedad del suelo aumenta. Sin embargo la comprobación experimental de este efecto no se había realizado hasta ahora. En nuestro estudio realizado con el suficiente número de repeticiones hemos podido comprobar experimentalmente la validez de esta afirmación.

Suponemos que la razón de haber podido comprobar este efecto, sea debida al procedimiento que hemos empleado en la de-

sólo determinamos la fracción de nutrientes que se encuentran en su forma mineral, ya que posiblemente dicha concentración responde a la razón en que son tomados por las raíces.

Hemos tratado de relacionar el valor de esta razón con la producción vegetal obtenida y encontramos que, a excepción de los rendimientos de las experiencias con distintas dosis de potasio pues esta fertilización eleva el valor de la razón afectando muy poco a los rendimientos, el menor valor de esta razón corresponde a un máximo de producción.

C) - El tercer aspecto que tratamos en nuestro estudio es el efecto de los distintos niveles hídricos en el contenido de nutrientes asimilables en el suelo después de las experiencias.

Sólo estudiamos las variaciones de la acidez del suelo y contenidos de  $K_2O$  y  $P_2O_5$ , pues las restantes determinaciones realizadas sobre materia orgánica, N total,  $CO_3^{=}$  y  $Mg^{++}$  no experimentan variaciones apreciables con los distintos niveles de humedad.

Las variaciones de los contenidos  $K_2O$  y  $P_2O_5$  con los distintos niveles hídricos presentan una misma tendencia, y es la de que sus valores disminuyen a medida que la humedad aumenta, siempre que esta mayor humedad lleve consigo un aumento en la producción vegetal. Es decir, la mayor producción, con los elevados niveles hídricos, es la causante de que los contenidos de estos nutrientes disminuyan en el suelo.

No obstante se aprecia que las variaciones en los contenidos de  $P_2O_5$  asimilable son mucho menores que las de  $K_2O$ , lo que se explica porque el equilibrio existente entre el P fijado y el asimilable es más dinámico que el correspondiente del  $K_2O$ .

suelo, encontremos que sólo sufren variaciones apreciables aquellos suelos con baja capacidad de cambio y por lo tanto con un pequeño poder amortiguador, manifestándose estas variaciones por un aumento del pH a medida que aumenta la frecuencia de los riegos. Esto se debe a que al aumentar la humedad, aumenta también la disolución de sales en el suelo con lo que la razón cationes metálicas/iones hidrógeno, en la solución del suelo aumenta también, produciéndose el consiguiente incremento en el pH.

## **CONCLUSIONES**

- 1.- Hemos podido comprobar aclarando la heterogeneidad existente en la bibliografía que la respuesta de la planta a los distintos porcentajes de humedad útil en el suelo depende del nivel de fertilización del mismo. Es decir, en suelos fértiles la producción depende del porcentaje de humedad útil mientras que en suelos cuya fertilidad sea limitante la producción no varía con dichos porcentajes.
- 2.- El aumento de producción que experimenta un tratamiento, al cual se le ha añadido un nutriente que no aparece como limitante por el análisis, se puede explicar, sin tener que acudir a la siempre artificiosa interacción entre nutrientes, por la teoría que hemos desarrollado sobre los "estados de superposición" con lo que se mantiene la generalización de la ley del mínimo de Liebig.
- 3.- La fertilización nitrogenada eleva el coeficiente de evapotranspiración, aumentando así la eficiencia del agua.
- 4.- Dada la poca solubilidad de los fosfatos usados como fertilizantes y el estado de saturación en la que se encuentra normalmente la solución del suelo en estos aniones, la respuesta de la planta a la fertilización fosfatada sólo se observa a los niveles hídricos elevados. A excepción, claro está, de los suelos muy deficientes en este elemento.
- 5.- La concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la savia aumentan a medida que la humedad del suelo disminuye. Por el contrario la del  $\text{P}_2\text{O}_5$  aumenta paralelamente con la humedad. Comportamiento que queda explicado por la distinta respuesta que cada uno de dichos iones, a un aumento de la humedad del suelo.

no sea muy baja, las concentraciones de los nutrientes  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  y  $Cl^-$  en la savia, disminuyen a medida que la humedad aumenta. Por el contrario si la fertilidad es muy baja dichas concentraciones aumentan o permanecen constantes con la elevación de la humedad del suelo.

- 7.- Se comprueba que se cumple el "efecto de valencia" con la dilución, según el equilibrio Donnan, en la composición catiónica de la planta. Comprobación que hasta el momento no se había realizado.
- 8.- La concentración de  $Cl^-$  en la savia disminuye a medida que la de  $NO_3^-$  aumenta. Esto deja de cumplirse cuando el aumento de los  $NO_3^-$  es provocada por una deficiencia de P en el suelo. En última consecuencia se deduce que la concentración de  $Cl^-$  varía de una forma tal que permite mantener un equilibrio aniónico en la savia.
- 9.- La acidez y los contenidos de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  del suelo disminuyen a medida que la frecuencia de los riegos aumenta, extremo que se explica perfectamente en el trabajo.
- 10.- Se aporta en conjunto una información teórica y práctica que permitirá sacar un mejor provecho de la fertilización en zonas de regadio, con dotaciones de riego muy variables.

## **BIBLIOGRAFIA**

---



- 1.- ARNON, I. - 1.962 - Fertilizer Use Under Irrigation - Potassium Symposium - pag.: 271-298.
- 2.- ATTOE, A.; SEAI, W. A. and TRUOG, E. - 1.949 - Correlation of the potassium content of alfalfa with that available in soils. - Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 14: 245-253.
- 3.- BARROWS, H.L. and KILMER, V.J. - 1.963 - Plant nutrient losses from soils by water erosion - Adv. Agron. 15: 303-316.
- 4.- BASIL, D. DOSS; BENNETT, O.L., ASHLEY, D.A. and EUSWINGER, L.E. 1.960 - Interrelations of nitrogen fertilization and irrigation of three forage grasses - 7 th. Intew. Cong. Soil. Sci. 3: 496-503.
- 5.- BATJER, L.P.; RAYNES, W.C.; and REGEIMBAL, L.O. - 1.940 - The interaction of nitrogen, potassium and phosphorus on growth of young apple trees in sand culture - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 37: 43-47.
- 6.- BLACK, C.A. - 1.957 - Soil-plant relationships - New-York. John Wiley - 332 pag.
- 7.- BLANCHET, R.; STUDER, R.S. et COLETTE CHAUMON - 1.962 - Quelques aspects des interactions entre l'alimentation potassique et l'alimentation hydrique des plantes- Ann. Agron. 13: 93-110
- 8.- BONNER, J. GALSTON, A.W. - 1.961 - Principios de Fisiologia Vegetal - Madrid - Aguilar - pag.485.
- 9.- BOWER, C.A.; BROWNING and MORTON, R.A. - 1.944 - Comparative effects of plowing and other methods of seedbed preparation on nutrient element deficiencies in corn - Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 9: 142-146.
- 10.- BRANTON, D.; LILLELAND, O.; URIU, K.; WERENFELS - 1.961 - The effect of soil moisture on apricot leaf composition - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 77: 90-96.
- 11.- BROWN, D.A. - 1.953 - Cation exchange in soils through the moisture range saturation to wilting percentage.- Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 17: 92-96.
- 12.- BURRELL, A.B. and CAIN, J.C. - 1941 - A response on apple trees to potash in the chamberlain Valley of New-York - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 38: 1-7.
- 13.- BURRIDGE, J.C.; LOKCARD, R.G. and ACQUAYE, D.K. - 1.964 - The leaves of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in the leaves of cacao an season. Ann. Bot. 28: 401-417.

- 15.- BURRIEL, F.; RAMIREZ MUÑOZ, J. y BENITO POTONS, A. - 1.957 - Aplicaciones Analíticas de la fotometría de llama - An. Edaf. y Fisiol. Veg. 16 : 167-202.
- 16.- CADAHIA, G. - 1.966 - Determinación de nitrógeno nítrico en savia - An. Edaf. Agrobiol. 24 :
- 17.- CADAHIA, G. - 1965 - El análisis de savia como índice de fertilización - Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Madrid.
- 18.- CANNELL, G.H.; TYLER, K.B. and ASBELL, C.B. - 1.959 - The effect of irrigation and fertilizer on yield, blackhead and nutrient uptake of celery - Proc. Amer. Soc. Hort.
- 19.- CANNELL, G.H.; BINGHAM, F.T. and GARBER, M.I. - 1.959 - Effects of irrigation and phosphorus on vegetative growth and nutrient composition of tomato leaves - Soil Sci. 89: 53-60.
- 20.- CANNELL, G.H.; VOTH, V.; BRINGHURST, R.S. - 1.961 - The influence of irrigation levels and application methods, polyethylene mulch and nitrogen fertilization on strawberry production in Southern California - Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 78: 281-292.
- 21.- CANNEL, G.H., BINGHAM, F.T.; J.C. LINGLE; GARBER, M.J. - 1.963 - Yield and nutrient composition of tomatoes in relation to soil temperature, moisture and phosphorus levels Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27 : 560-569.
- 22.- CANNELL, G.H.; BINGHAM, F.T.; ASBELL, C.W. - 1.965 - Effects of irrigation and phosphorus on production of field tomatoes - Agron. J. 57: 176-179.
- 23.- CARLSON, C.W.; ALESSI, J. And MICKELSON, R.H. - 1.959 - Evapotranspiration and yield of corn as influenced by moisture level, nitrogen fertilization and plant density - Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 23:242-244.
- 24.- CHAPMAN, H.D. - 1.966 - Diagnostic criteria for plants and soil Riverside, University of California - 793 pág.
- 25.- CHAUNCEY, O. STAMBERY and MARCK LOWREY - 1.965 - Barley production under various nitrogen and moisture levels.- Agron. J. 57: 31-34.
- 26.- COLEON, J. - 1.958 - The phosphorus problem in the nutrition of milking cows - Association Internationale des fabricants de superphosphate. 1.958.
- 27.- COOK, R.L. and MILLAR, C.E. - 1.953 - Michigan Agr. Expt. Sta. Bull. 353.
- 28.- CROOKE, W.A. and KNIGHT, A.H. - 1.962 - An evaluation of published data on the mineral composition of plant in the light of the cation-exchange capacities of their roots Soil Sci. 93: 365-373.

- 29.- COLLINAN, F.P.; SCOTT, D.H. and WANG, J.G. - 1.939 - The effects of varying amounts of nitrogen, potassium and phosphorus on the growth of young peach trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 36: 61-68.
- 30.- DANIEL, H.A. and HARPER, H.J. - 1.935 - The relation between effective rainfall and total calcium and phosphorus in alfalfa and prairie hay. *J. Am. Soc. Agron.* 27: 646.-652.
- 31.- DANIELSON, R.E.; and RUSSELL, M.B. - 1.957 - Ion absorption by corn roots as influenced by moisture and aeration - *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21: 3-6.
- 32.- DEAN, L.A. and FRIED, M. - 1.953 - Soil-plant relationships in the phosphorus nutrition of plants. In "Soil and fertilizers phosphorus in crop nutrition" - Edited W.H. Pierre and A.G. Norman, New-York, Academic Press Inc. pp. 43-58.
- 33.- DEIMAS, J.; ROUSCHENKO, W. et Mlle. BOUDEL - 1.959 - Controle de la nutrition des plantes par l'analyse minerale du suc - *C.R. Ac. Agric. France* 45: 796-802.
- 34.- DEIMAS, J. et ROUSCHENKO, W. - 1.962 - Contribution a l'etude des variations de la composition minerale du suc de maïs soumis deux types d'alimentation azotés l'une totalement nitrrique, l'autre totalement ammoniacale.- *An. Agron.* 13: 575-586.
- 35.- DEMOLON, A. - 1.952 - Dynamique du sol - Cinquième édition, Paris, Dunod, 520 pag.
- 36.- DRAKE, M. and WHITE, J.M. - 1.961 - influence of nitrogen on uptake from calcium - *Soil Sci.* 91: 66-691
- 37.- DUNCAN, W.G. and OHLROGGE, A.J. - 1.958 - Principles of nutrient uptake from fertilizers bands. II Root development in the band.- *Agron. J.* 50: 605-608.
- 38.- ELGABALY, M.M. and WIKLANDER - 1.949 - Effect of exchange capacity of clay mineral and acidoid of plant on uptake of sodium and calcium by excised barley and pea roots. - *Soil. Sci.* 67: 419-424.
- 39.- EMMERT, E.M. - 1.936 - Effect of drought on the nutrient levels in the tomatoe plant. - *Soil Sci.* 41: 67-70.
- 40.- EUSMINGER, L.E. and COPE, J.T. Jr. - 1.947 - Effect of soil reaction on the efficiency of various phosphates for cotton and on loss of phosphorus by ~~Exsion~~ <sup>Exsion</sup>. - *J. Am. Soc. Agron.* 39: 1-11.
- 41.- FAWCET, R.G. and QUIRK, J.P. - 1.962 - The effect of soil-water stress on the absorption of soil phosphorus by wheat. - *Aust. J. Agric. Res.* 13: 193-205.
- 42.- FELDSTEIN, J. and CHILDERS, N.F. - 1.965 - Effects of irrigation on peaches in Pennsylvania. - *Proc. Am. Hort. Sci.* 87: 145-153.
- 43.- FRANKLIN, R.E.; TEATER, R.W.; CURRY, R.B. and SCHWAB, G.O. 1.964 - Nitrogen-irrigation interactions in burley tobacco production - *Agron. J.* 56: 361 - 362.

1957 - Kinetics of phosphorus uptake in the soil-plant system. - Soil Sci. 84: 427-437.

- 45.- GARCIA CONTRERAS, J. - 1.960 - Estudio de los factores que influyen en la nutrición de las plantas en suelos yesosos.- Tesis doctoral, Facultad de Farmacia. Universidad de Madrid.
- 46.- GARNER, W.W. - 1930 - RÔLE of chlorine in nutrition and growth of the tobacco plant and its effect on the quality of the cured leaf. - Agric. Res. 40: 627-648.
- 47.- GATES, C.T. - 1.957 - The response of the young tomato plant to brief of water shortage - III Drifts in nitrogen and phosphorus - Austr. L. Biol. Sci. 10:125-146.
- 48.- GINGRICH, J.R. and RUSSEL - 1.957 A comparison of effects of soil moisture tension and osmotic stress on root growth - Soil Sci. 84: 185-194.
- 49.- GILBERT, B.E. and HARDIN, J.L. - 1.927 - The current mineral nutrient content of the plant solution as a possible means of chemical control of optimum fertilization.- J. Agric. Res. 35: 185-192.
- 50.- GOODALL, D.W.; GRANT LIPP, A.E. and SLATER, W.G. - 1.955 - Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce - Nutritional Interaction and growth.- Austr. J. Biol. Sci. 8: 301-329.
- 51.- GOODALL, D.W.; SLATER, W.G. and GRANT LIPP - 1.957 - Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce II: Effects of nutrition on water content - Austr. J. Biol. Sci. 10: 57-65.
- 52.- GREAVES, J.E. and CARTER - 1.923 - The influence of irrigation water on the composition of grains and the relationship nutrition - J. Biol. Chem. 58: 531-541.
- 53.- GREAVES, J.E. and NELSON, D.M. - 1.925 - The influence of irrigation water and manure on the composition of the corn Kernel - J. Agric. Res. 31: 183-189.
- 54.- HADDOCK, J.L. - 1.949 - The influence of plant population, soil moisture, and nitrogen fertilization on the sugar content and yield of sugar beets. Agron. J. 41:439-84.
- 55.- HADDOCK, J.L. and LINTON, D.C. - 1.957 - Yield and phosphorus content of canning peas as affected by fertilization, irrigation regime and sodium bicarbonate soluble soil phosphorus. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 167-171.
- 56.- HAGAN, M.R. - 1.962 - Plant growth under mediterranean climatic conditions as influenced by water supplies.- Potassium symposium pág. 191-218.
- 57.- HAGEN, C.E. and HOPKINS, H.T. - 1.955 - Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots.- Plant Physiol. 30: 193-199.

- 58.- HAGIN, J.; SHMOELI, E. - 1.960 - Determination of available nutrients and fertilizer requirements of winter tomatoes in the Jordan Valley Quart. J. Natl. Univ. Inst. Agric. 10.
- 59.- HAISE, H.R.; VIETS, F.G. and ROBINS, J.S. - 1.960 - Efficiency of water use related to nutrient supply. - Trans. 7th Cong. Int. Soil Sci. 1: 663-671.
- 60.- HANWAY, J.J. and ENGELHORN, A.J. - 1.958 - Nitrate accumulation in some Iowa crop plants. - Agron. J. 50:331-334.
- 61.- HARTER, R.D. and McLEAN, E.O. - 1.965 - The effect of moisture level incubation time on the chemical equilibrium of a Toledo clay loam soil. Agron. J. 57:583-587.
- 62.- HERNANDO, V., ALBAREDA, J.M., y SANCHEZ CONDE, M.P. - 1.957 Interacción Ca/K en la absorción de estos elementos por la planta de trigo. II.- An. Edaf. Fisiol. Veg. 17: 503-563.
- 63.- HERNANDO, V.; JIMENO, L. y GADAHIA, C. - 1.964 - Estudio del estado de nutrición de las tomateras mediante el análisis de la sabia - An Edaf. Agrobiol. 22: 65-74.
- 64.- HIBBARD, A.D. and MOHSEN NOUR - 1.959 - Leaf content of phosphorus under moisture stress. - Proc. Amer. Soc. Hort Sci. 73: 33-39.
- 65.- HOAGLAND, D.R. and BROJER, T.C. - 1.936 - General nature of the process of salt accumulation by roots, with description of experimental methods. - Plant Physiol. 11. 471-475.
- 66.- HOSNER, J.F. - 1959 - Survival root and shoot growth of six bottomland tree species following flooding. J. Forestry 57: 927-928.
- 67.- HOSNER, J.F. and LEAF, A.L. - 1.962 - The effect of soil saturation upon the dry weight ash content and nutrient absorption of various bottomland tree seedling. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 401-404.
- 68.- HOSNER, J.F.; ALBERT, L. Leaf; DICKSON, R. and JAMES B. HART Jr. - 1.965 - Effects of varying soil moisture upon the nutrition uptake of four bottomland tree species. Soil Sci. Soc. Proc. 29: 311-316.
- 69.- HUMBERT, E.P. - 1.959 - Potash fertilization in the hawaiian sugar industry-Potassium Symposium págs: 319-344.
- 70.- HUTCHEON, W.L. and RENNIE, D.A. - 1.960 - The relationship of soil moisture stress and nutrient availability to the growth characteristics and quality of wheat. 7th Int. Cong. Soil Sci. 3: 488-495.
- 71.- JAMES, B.E. - 1.948 - The effect of varying amounts of irrigation on the composition of two varieties of snap bean. - Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 51: 457-462.

- 72.- JAMES, W.O. - 1.930 - Studies of the physiological importance of the mineral elements in plants - I: The relation of potassium to the properties and functions of the leaf - Ann. Bot. 44: 173-198.
- 73.- JAMES, B.E. and DRINKWATER, W.O. - 1.959 - Irrigation studies on vegetables in Connecticut - Conn. Agr. Expt. Sta. Bull. 338.
- 74.- JENNE, E.A.; RHOADES, H.F.; YIEND, C.H. and HOWE, O.W. - 1.958 - Change in nutrient element accumulation by corn with depletion of soil moisture. - Agron. J. 50: 71-74.
- 75.- JENNY, H. y col. - 1.950 - Greenhouse assay of fertility soil of California - Hilgardia 20: 1-8.
- 76.- JIMENEZ, L. - 1.964 - El análisis de la savia en lechugas aplicado al estudio del suelo. - Colloque Européen sur le contrôle de la nutrition minérale et de la fertilisation des cultures méditerranéennes, Montpellier 28 sep.-3 oct. pag 62-65.
- 78.- KELLEY, O.J. - 1.954 - Requirements and availability of soil water - Adv. Agron. 6: 67-94.
- 79.- KILMER, V.J. y col. - 1.960 - Yield and mineral composition of eight forage species grown at four levels of soil moisture. - Agron. J. 52: 282-285.
- 80.- KRAMER, P.J. - 1.951 - Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. - Plant Physiol. 26 :268-273.
- 81.- LABANAUSKAS, C.K.; LETEY, J.; STOLZY, L.H. and VALORAS, N. - 1.966 - Effects of soil-oxygen and irrigation on the accumulation of macro- and micro nutrients in citrus seedlings. - Soil Sci. 101: 378-384.
- 82.- LARSON, W.B. - 1.954 - Response of sugar beets to potassium fertilization on relation to soil physical and moisture conditions. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18: 313-317.
- 83.- LAWTON, K. - 1.945 - The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. - Soil Sci. Soc. Am. Proc. 10: 263-268.
- 84.- LECOMPT, M. 1.959 - Test rapides pour le contrôle sur le terrain de la nutrition minérale des plantes cultivées. - C.R. Ac. Agric. France 45: 802-810.
- 85.- LETEY, J.; RICHARDSON, W.F. and VALORAS, N. - 1.965 - Barley growth, water use, and mineral composition as influenced by oxygen exclusion from specific regions of the root system. - Agron. J. 57: 629-631.

- 86.- LIVENES, J. - 1963 - Effect of drying and the storage of soil samples on their content of mineralizable nitrogen. Agricultura (Louvain) 11: 135-144.
- 87.- LOCASSIO, S.J. and WARREN, G.F. - 1.960 - Interaction of soil temperatures and phosphorus on growth of tomatoes. - Am. Soc. Hort. Sci. 75: 601-610.
- 88.- LUEBS, R.E.; STANFORD, G. and SCOTT, A.D. - 1.956 - Relation of available potassium to soil moisture. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20: 45-50
- 89.- MACK DRAKE - 1.964 - Soil chemistry and nutrition. - In "Chemistry of the soil" - Ed. Firman E. Bear. New-York.- Reinhold Publishing Corporation, pag. 394-444.
- 90.- MACKENZIE, A.J.; SPENCER, W.F.; STOCKINGER, K.R. and KRANTS, B.A. - 1.963 - Seasonal nitrate-nitrogen content of cotton petioles as affected by nitrogen application and its relationship to field, - Agron J. 55: 55-59.
- 91.- MADISON, J. WRIGHT and KENNETH L. DAVISON - 1.964 - Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals.- Adv. Agron. 16: 197-247.
- 92.- MANN, C.E.T. - 1.924 - The phyology of the nutrition of fruit trees. I. - Some effects of calcium and potassium starvation.- Bristol Univ. Agr. Hort. Res. Sta. Ann. Rpt. 1924: 30-45.
- 93.- MATTSON, S. - 1.948 - Laws of ionic exchange. Donan equilibria in plant nutrition. - Lant. Ann. 15: 308-316.
- 94.- McKIBBEN, G.E., GARD, L.E. and WEBB, R.J. - 1.959 - Experimental irrigation of ladino clover-grass pasture.- III. Agric. Exp. Sta. Bull. 640.
- 95.- McLEAN, E.V.; ADAMS, D.; FRANKLIN, R.E. Jr. - 1.956 - Cation Exchanges capacities of plant roots as related to their nitrogen contents.- Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 345-347.
- 96.- McMURTREY, J.E.; BOWLING, J.D.; BROWN, D.E. and Engle, H.B.- 1.947 - Effects of controlled soil moisture on growth composition yield and quality of Maryland tobacco.- J. Agric. Res. 75: 215-249.
- 97.- MEDERSKI, H.J. and WILSON, J.H. - 1.960 - Relation of soil moisture to ion absorption by corn plants.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24: 149-152.
- 98.- MERIAUX, S. - 1.954 - Contribution a l'etude de l'analyse granulometrique - Ann. Agron. 1: 5-59.
- 99.- METWALLY, S.Y. and POLLARD, A.G. - 1.959 - Effects. of soil moisture conditions on the uptake of plant nutrients by barley and on the nutrient content of the soil solution. J. Sci. Food. Agric. 10: 623-636.

and composition of the maize plant at different periods of growth. - Mo. Agro. Expt. Sta. Res. Bull. 76.

- 101.- MITSCHERLICH, E.A. - 1.925 - Verschriften zur Anstellung von Feldversuchen in den landwirtschaftlichen Praxis. - 2<sup>e</sup> ed. Berlin 1.925 - "Zur Anschaltung eines systematischen Fehlers bei Feldversuchen. Schriften der Königsberger.
- 102.- MONTGOMERY, E.G. and KIESSELBACH, T.A. - 1.912 - Studies in water requirement of corn. - Nebraska Agr. Expt. Sta. Bull. 128.
- 103.- MORRIS, J.R.; KATTAN, A.A. and ARRINGTON, E.H. - 1.962 - Response of alberta peaches to interactive effects of irrigation, pruning and thinning.- Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80: 177-178.
- 104.- MOSS, P. - 1.964 - Some aspects of the cation status of soil moisture. V. The effect of soil moisture tension on growth and cation uptake by plant. - Plant Soil 20: 271-286.
- 105.- NELLER, J.R. - 1.947 - Mobility of phosphates in sandy soil.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11: 227-230.
- 106.- NELLER, J.R. and COMAR, C.L. - 1.947 - Factors affecting fixation of phosphorus in soils as determined with radioactive phosphorus.- Soil Sci. 64: 379-387.
- 107.- NOVOGRUDSKY, D.M. - 1.947 - Microbiological processes in semi desert soils. III. Category of soil moisture and nitrification.- Pedology pag. 27-31.
- 108.- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. and DANIELSON, R.E. - 1961 - Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration.- Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 25: 289-294.
- 109.- OLSON, R.A.; THOMPSON, C.A.; GRABOESKI, P.H.; STUKENHOLTZ, D.D.; FRANK, K.D. and DRIER, A.F. - 1.964 - Water requirement of grain crops as modified by fertilizer use. - Agron. J. 56: 427-432.
- 110.- PARKS, R.S. - 1.951 - Irrigation agriculture and soil re in the United States.- Ad. Agron. 3: 323-344.
- 111.- PEARSALL, W.H. - 1.950 - The investigation of wet soils and its agricultural implications. - Exp. J. Exp. Agric. 18: 289-298.
- 112.- PEEV, K.V. - 1.959 - Development of root system of maize at a low soil moisture content. - Dokl. Akad. Tumiryasera 46: 59-64.
- 113.- PETTINGER, N.A. - 1.931 - The expressed sap of corn plants as in indication of nutrient needs. - J. Agric. Res. 43: 95-119.



- 114.- POWER, J.F.; GRUNES, D.L.; REICHMAN, G.A.; WILLIS, W.O.- Soil temperature and phosphorus effects upon nutrient absorption by barley.- Agron. J. 56: 355-359.
- 115.- POWER, J.F.; REICHMAN, G.A. and GRUNES, D.L. - 1.961 - The influence of phosphorus fertilization and moisture on growth and nutrient absorption by spring wheat I. Plant growth N uptake and moisture use. II. Soil and fertilizer P uptake in plants.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 207-213.
- 116.- POZUEDO, J.M. y ULRICH, A. - 1.967 - Aportación a la determinación de la concentración crítica de fósforo en la remolacha azucarera. I. Efectos del fósforo en el desarrollo de la planta.- An. Edaf. Agrobiol. (en prensa).
- 117.- PREVOT, P. et OLLANGE, M. - 1.958 - La fumure potassique dans les régions tropicales et subtropicales.- Potassium Symposium: 277-318.
- 118.- RALPH, A.; FISCHER and HAGAN, ROBERT M. - 1.965 - Plant water relations, irrigation management and crop yield. - Esp. Agric. 1: 161-177.
- 119.- RAMADHAR SINGH and ALDERFER, R.B. - 1.966 - Effects of soil moisture stress at different periods of growth of some vegetable crops.- Soil Sci. 101: 69-80.
- 120.- RECALDE, L. - 1.962 - Concepto y medida de la fertilidad actual de los suelos cultivados.- Actas de la 1ª Reunión del Ins. Nal. Edaf. y Agrobiol.- Salamanca 1962: 72-79.
- 121.- REITEMEIER, R.F. - 1.946 - Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ion of soils of arid regions.- Soil Sci. 61: 195-214.
- 122.- RICHARDS, L.A. and WADLEIGH, C.H. - 1.951 - Soil moisture and the mineral nutrition of plants. In "Mineral nutrition for plants".- Ed. E. Truog - Madison University of Wisconsin Press pág.: 411-450.
- 123.- RONALD, V. STOFFER and GORDON E. VAN RIPER - 1.963 - Effect of soil temperature and soil moisture on the physiology of sorghum.- Agron. J. 55: 447-450.
- 124.- ROUTHENKO, W.; CADAHIA, L. - 1.967 - Fondements physiologiques du contrôle de la nutrition minérales des plantes.- C. R. Ac. Agric. France (En prensa)
- 125.- RUSSELL, E.W. - 1.962 - Soil conditions and plant growth.- 9ª edition - London-Longmans 688 pág.
- 126.- SAUNDERS, W.M. - 1.959 - Effect of phosphate top dressing on a soil from andesitic volcanic ash.- N.Z.J. Agric. Res. 2: 445-462.
- 127.- SCARSBROOK, C.E.; BENNETT, O.L.; PEARSON, R.W. - 1.959 - The interaction nitrogen and moisture on cotton fields and other characteristics.- Agron. J. 51: 718-721.

- 129.- SCHAWALEN, H.C. and WARTON, M.F. - 1.930 - Lettuce irrigation studies.- Arizona Agric. Exp. Sta. Bull. 133:463-517.
- 130.- SHAPIRO, R.E.; ARMINGEN, W.E. and FRIED, M. - 1.960 - The effect of soil water movement, phosphate diffusion on growth and phosphorus content of corn and soybeans - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24: 161-164.
- 131.- SKOSS, J.D. - 1.955 - Structure and composition of plant cuticle in relation to environmental factor and permeability.- Bot. Gaz. 117: 55-80.
- 132.- SMIKA, D.E.; HAAS, H.J. and POWER, J.F. - 1.965 - Effects of moisture and nitrogen fertilizer on growth and water use by native grass.- Agron. J. 57: 483-486.
- 133.- SMITH, G.E. - 1.953 - Less water required per bushel of corn with adequate fertility.- Missouri Farmer Assoc. Bull. 1.953.
- 134.- STAMBERRY, C.O.; CONVERSE, C.D.; HAISE, H.R. and KELLEY, O.J. - 1.955 - Effect of moisture and phosphate variables on alfalfa hay production on the Yuma Mesa.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 303-310.
- 135.-SOBORNIKOVA, I.G. - 1.959 - The effect of irrigation on the terrace ~~sis~~-Caucasian chernozems of the Rostov region. - Soviet Soil Sci.: 193-201.
- 136.- STANDORD, G. - 1.948 - Fixation of potassium in soils under moist condition and on drying in relation to type of clay mineral.- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12: 167-171.
- 137.- STANHINLL, G.- 1.957 - The effect of differences in soil moisture status on plant growth: A review and analysis of soil moisture regime experiments.- Soil. Sci. 84: 205-214.
- 138.- SUTELIFFE, J.F. - 1.962 - Mineral salts absorption in plants.- Oxford Pergamon Press. 194 pag.
- 139.- THOMAS, W; MACK, W.B. and COTTON, R.H.- 1.942 - Foliar diagnosis in relation to irrigation.- Proc. Amer. Soc. Hort. Sic. 40: 531.535.
- 140.- THORNE, G.N. - 1.955 - Interactions of nitrogen, phosphorus and potassium supplied in leaf sprays or in fertilizer added to the soil.- J. Exp. Bot. 6:20.42.
- 141.- THORNE, N.- 1.958 - Factors affecting uptake of radioactive phosphorus by leaves and its translocation to other parts of the plant.- Ann. Bot. 22: 381-398.
- 142.- TRANSACTION OF THE SECOND AND FOURTH COMMISSION OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE.- Hamburg 1958.
- 143.- TRANSACTION OF JOINT MEETING OF COMMISSIONS IV AND V OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE.- New Zealand 1.962.

- 144.- TROCME, S. y GRAS, - 1.966 - Suelo y fertilización en fruticultura.- Madrid.- Mundi-Prensa. 364 pág.
- 145.- TRUMBLE, H.C. - 1.947 - Some factors affecting the nutrition of herbage plants.- J. Aust. Inst. Agric. Sci. 13: 198-203.
- 146.- TRUOG, E. and JONES, R.J. - 1.938 - The fate of soluble potash applied to soils.- Ind. Eng. Chem. 30:882-885.
- 147.- VAN DER PAAUW, F. - 1.958 - Relations between the potash requirements of crops and meteorological conditions.- Plant Soil 9 : 254-268.
- 148.- VEIHMEYER, F.J. and HENDRICKSON, A.H. - 1.933 - Some plant and soil-moisture relations, - Am. Soil. Survey Assoc. Bull. 15: 76-80.
- 149.- VEIHMEYER, F.J. and HOLLAND, A.H. - 1.949 - Irrigation and cultivation of lettuce - Calif. Agric. Expt. Sta. Bull. 711.
- 150.- VIETS, F.G. - 1.962 - Fertilizers and the efficient use of water.- Adv. Agron. 14: 223-264.
- 151.- VISSER, W.C. - 1.966 - Progress in the knowledge about the effect of soil moisture content on plant production.- Inst. for Land and Water Mang. Res. Technical Bull. 45.
- 152.- VOLK, G.M. - 1.947 - Significance of moisture translocation of low moisture tension to zones of high moisture tension by plant roots.- J. Amer. Soc. Agron. 39: 93-106.
- 153.- VOLK, N.J. - 1.934 - The fixation of potash in difficult available form in soils.- Soil Sci. 37 : 267-287.
- 154.- WALLACE, T. - 1.958 - Potassium uptake in relation to soil moisture.- Potassium Symposium: 41-47.
- 155.- WATANABE, F.S.; OLSEN, S. R. and DANIELSON, R.E. - 1.960 - Phosphorus availability as related to soil moisture.- 7 th Int. Congr. Soil Sci. 3: 450-456.
- 156.- WEAVER; H.A. and PEARSON, R.W. - 1.956 - Influence of nitrogen fertilization and plant population density on evapotranspiration by sudangrass.- Soil Sci. 81: 443-452.
- 157.- WETSELAAR, R. - 1.961 - Nitrate distribution in tropical soils. II. Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. Plant Soil 25: 121-132.
- 158.- WIKLANDER, L. - 1.964 - Cation and anion exchange phenomena. In "Chemistry of the soil" Ed. Fiman E. Bear. - New-York - Reinhold Publishing Corporation pág. 163-205.
- 159.- WIKLANDER, L. - 1.954 - Forms of potassium in the soil.- Potassium Symposium: 109-121.
- 160.- WILLIAMS, C.H. and SIMPSON, J.R. - 1.965 - Some effects of cultivation and water logging on the availability of phosphorus in pasture soils.- Aust. J. Agric. Res. 16: 413-427.

fertilisation and some meteorological factors on  
stomatal aperture of "*coffea arabica* L". - Ann. Bot.  
29: 523-539.